



TUGAS AKHIR - MN 184802

STUDI PENGGUNAAN *MULTIPLE ROWS DUCTED PROPELLER* PADA *SHALLOW DRAFT BULK CARRIER* UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI SISTEM PROPULSI

**Irza Nur Afifudin
NRP 0411154000013**

**Dosen Pembimbing
Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc. Ph.D.
Febriani Rohma Dhana, S.T., M.T.**

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



TUGAS AKHIR - MN 184802

STUDI PENGGUNAAN *MULTIPLE ROWS DUCTED PROPELLER* PADA *SHALLOW DRAFT BULK CARRIER* UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI SISTEM PROPULSI

**Irza Nur Afifudin
NRP 0411154000013**

**Dosen Pembimbing
Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc. Ph.D.
Febriani Rohma Dhana, S.T., M.T.**

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



FINAL PROJECT - MN 184802

**THE STUDY OF USING MULTIPLE ROWS DUCTED
PROPELLER IN SHALLOW DRAFT BULK CARRIER TO
INCREASE PROPULSION SYSTEM EFFICIENCY**

**Irza Nur Afifudin
NRP 0411154000013**

**Supervisor
Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc. Ph.D.
Febriani Rohma Dhana, S.T., M.T.**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI PENGGUNAAN *MULTIPLE ROWS DUCTED PROPELLER* PADA *SHALLOW DRAFT BULK CARRIER* UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI SISTEM PROPULSI

TUGAS AKHIR

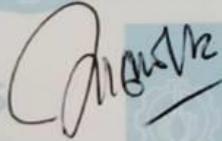
Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

IRZA NUR AFIFUDIN
NRP 0411154000013

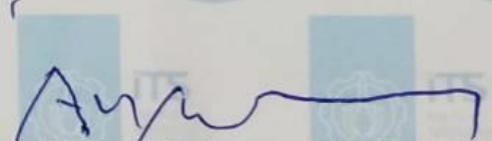
Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing II



Febriani Rohma Dhana, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing I



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

Mengetahui,

Kepala Departemen Teknik Perkapalan



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

SURABAYA, 30 JANUARI 2020

LEMBAR REVISI

STUDI PENGGUNAAN *MULTIPLE ROWS DUCTED PROPELLER* PADA *SHALLOW DRAFT BULK CARRIER* UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI SISTEM PROPULSI

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 06 Januari 2020

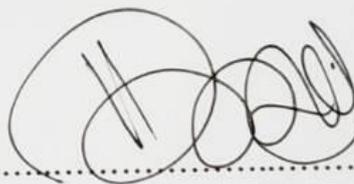
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

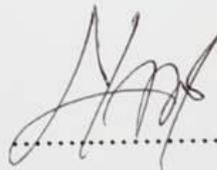
IRZA NUR AFIFUDIN
NRP 0411154000013

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Dony Setyawan, S.T., M.Eng.



2. Danu Utama, S.T., M.T.

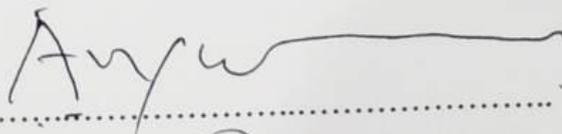


3. Hasanudin, S.T., M.T.

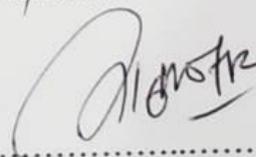


Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

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



2. Febriani Rohma Dhana, S.T., M.T.



SURABAYA, 21 JANUARI 2020

Dipersembahkan kepada kedua orang tua dan adik saya yang tercinta atas segala dukungan dan doanya

KATA PENGANTAR

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

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.,D. selaku Dosen Pembimbing I atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
2. Febriani Rohma Dhana, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
3. Dr. Ir. I Ketut Suastika. selaku dosen wali atas bimbingan dan motivasinya dari awal mulai berkuliah di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS;
4. Hasanudin, S.T., M.T. selaku Kepala Laboratorium Desain Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas ijin pemakaian fasilitas laboratorium;
5. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS;
6. Bapak Agus Suyono dan Ibu Sri Wahyuningsih selaku orang tua Penulis, Adek Azimatus Nur Safitri atas kasih sayang, nasihat, motivasi, dan doa yang berlimpah;
7. Seluruh dosen serta civitas akademik Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS yang telah memberikan arahan dan bantuan kepada Penulis;
8. Saudara, rekan, dan sahabat P55-SAMUDRA RAKSA dan pihak-pihak yang telah membantu Penulis selama perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, 6 Januari 2020

Irza Nur Afifudin

STUDI PENGGUNAAN MULTIPLE ROWS DUCTED PROPELLER PADA SHALLOW DRAFT BULK CARRIER UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI SISTEM PROPULSI

Nama Mahasiswa : Irza Nur Afifudin
NRP : 0411154000013
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.
2. Febriani Rohma Dhana, S.T., M.T.

ABSTRAK

Peningkatan performa kapal diperlukan untuk menunjang kinerja kapal, hal tersebut dapat dilakukan salah satunya dengan meningkatkan efisiensi sistem propulsi. Peningkatan efisiensi sistem propulsi terdapat berbagai macam cara, diantaranya memodifikasi bentuk lambung dan memodifikasi *propulsor*.

Tugas Akhir ini berfokus pada modifikasi bentuk *propulsor* dengan menganalisis nilai *velocity of advance*, *thrust* dan *torque* yang nantinya dari ketiga variabel ini berpengaruh terhadap nilai efisiensi sistem propulsi. Untuk mengetahui nilainya, maka dilakukan simulasi *Computational Fluid Dynamic* dibantu dengan *software CFD tools* pada kondisi *uniform flow*. Setelah hasil diperoleh, maka dilakukan pembuatan desain baru pemasangan sebuah *stator* yang selanjutnya dalam Tugas Akhir ini disebut *multipler rows ducted propeller* (MRDP) dengan menerapkan variasi sudut *pitch* 0° , 3° , 6° , dan 9° pada *stator*. Selanjutnya disimulasikan kembali menggunakan *software CFD tools* dengan kondisi *ununiform flow*. Setelah itu, dilakukanlah studi komparatif terhadap nilai *velocity of advance*, *thrust*, *torque* dan efisiensi sistem propulsi diantara *ducted propeller* dengan *multiple rows ducted propeller*. Dan hasilnya menunjukkan bahwa penambahan *stator* dapat meningkatkan nilai *velocity of advance*, *thrust*, *torque* dan efisiensi sistem propulsive.

Tercatat untuk nilai *velocity of advance* tertinggi terletak pada MRDP dengan sudut *pitch* 6° yakni sebesar 4,142 m/s. Untuk nilai *thrust* tertinggi terletak pada MRDP dengan sudut *pitch* 9° yakni sebesar 165174,43 N. Untuk nilai *torque* tertinggi terletak pada MRDP dengan sudut *pitch* 9° yakni sebesar 88224,10 Nm. Dan untuk nilai efisiensi sistem propulsi yang tertinggi terletak pada MRDP dengan sudut *pitch* 6° yakni sebesar 0,5139.

Kata Kunci: *MRDP*, *Thrust*, *Torque*, CFD, Efisiensi Sistem Propulsi

STUDY OF USING MULTIPLE ROWS DUCTED PROPELLER IN SHALLOW DRAFT BULK CARRIER TO INCREASE PROPULSIVE SYSTEM EFFICIENCY

Author : Irza Nur Afifudin
Student Number : 04111540000013
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology
Supervisor : 1. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.
2. Febriani Rohma Dhana, S.T., M.T.

ABSTRACT

Improving of the ship performance is needed to support the ship maneuverability, this can be done one of them by increasing the efficiency of propulsion system. There are some way to increasing the efficiency of propulsion system such as hull modification and propulsor form modification.

This Final Project focusing on modification of the form of propulsor by analyzing the value of advance velocity, thrust and torque which is these three variables can be affect on increasing the value of the efficiency of propulsion system. To find out those value, a Computational Dynamic Fluid simulation that supported with a CFD software tools is performed under uniform flow conditions. After the results are obtained, a new stator mounting in the design has made, which is then called a multipler rows ducted propeller (MRDP) after that applying variations in pitch angles of 0 °, 3 °, 6 ° and 9 ° on the stator. Repeating Computational Dynamic Fluid simulation with non-uniform flow conditions. After that, a comparative study was carried out on the values of advance velocity, thrust, torque and efficiency of the propulsion system between ducted propellers and MRDP. And the results increase the advance velocity, thrust, torque and propulsive system efficiency. Noted for the highest advance velocity value is located on MRDP with a pitch angle of 6° of 4,142 m / s. For the highest thrust value is located on the MRDP with a pitch angle of 9° of 165174.43 N. For the highest torque value on MRDP with a pitch angle of 9° that is equal to 88224.10 Nm. And for the value of the highest efficiency propulson system on MRDP with a pitch angle of 6° that is equal to 0.5139

Keywords: MRDP, Thrust, Torque, CFD, Propulsion System Efficiency

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
HALAMAN PERUNTUKAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR SIMBOL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Manfaat	4
1.6. Hipotesis	4
BAB 2 STUDI LITERATUR.....	5
2.1. <i>Barge</i>	5
2.2. <i>Ducted Propeller</i>	6
2.2.1. <i>Accelerating Duct</i>	8
2.2.2. <i>Declarating Duct</i>	8
2.3. <i>Stator</i>	8
2.4. <i>Thrust Deduction</i>	9
2.5. <i>Velocity of Advance</i>	9
2.6. Efisiensi Sistem Propulsi (η_D)	10
2.7. <i>Computational Fluid Dynamic (CFD)</i>	12
2.7.1. <i>Pre Processor</i>	13
2.7.2. <i>Solver</i>	13
2.7.3. <i>Post Processor</i>	14
BAB 3 METODOLOGI	15
3.1. Bagan Alir.....	15
3.2. Tahapan Pengerjaan Tugas Akhir.....	16
3.2.1. Studi Literatur	16
3.2.2. Pengumpulan Data	16
3.2.3. Pengolahan Data	17
3.2.4. Pemodelan <i>Ducted Propeller</i>	17
3.2.5. Validasi Data.....	17
3.2.6. Pemodelan <i>Multiple Rows Ducted Propeller</i>	17
3.2.7. Perhitungan <i>thrust</i> dan <i>torque</i> dibantu dengan <i>software CFD tools</i>	18
3.2.8. Studi Komparatif Efisiensi Sistem Propulsi	18
3.2.9. Kesimpulan	18
3.2.10. Pembuatan Laporan	18

3.3. Spesifikasi Komputer	18
BAB 4 PERHITUNGAN DAN PEMODELAN	19
4.1. Pendahuluan	19
4.2. Perhitungan <i>Thrust</i> dan <i>Velocity of Advance</i>	21
4.3. Perhitungan Kurva KT Desain	23
4.4. Perhitungan Dimensi <i>Propeller</i>	24
4.5. Pemodelan <i>Propulsor</i>	27
4.6. Variasi	29
4.6.1. <i>Ununiform Flow</i>	29
4.6.2. <i>Multiple Rows Ducted Propeller</i>	32
BAB 5 SIMULASI DAN HASIL SIMULASI	33
5.1. Pendahuluan	33
5.2. Simulasi <i>Computational Fluid Dynamic</i>	33
5.2.1. Tahapan Geometri	33
5.2.2. Tahapan Mesh	34
5.2.3. <i>Pre-processor</i>	35
5.2.4. <i>Solver</i>	38
5.2.5. <i>Post Processor</i>	39
5.3. Grid Independence	41
5.4. Validasi Data	42
BAB 6 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	43
6.1. Pendahuluan	43
6.2. <i>Ducted Propeller</i>	43
6.2.1. Pola Aliran Air	43
6.2.2. <i>Thrust</i> dan <i>Torque</i>	45
6.2.3. Efisiensi <i>Propulsor</i>	46
6.2.4. Efisiensi Sistem Propulsi	47
6.3. <i>Multiple Rows Ducted Propeller (MRDP)</i> dengan sudut <i>pitch stator</i> 0°	47
6.3.1. Pola Aliran Air	47
6.3.2. <i>Thrust</i> dan <i>Torque</i>	49
6.3.3. Efisiensi <i>Propulsor</i>	50
6.3.4. Efisiensi Sistem Propulsi	50
6.4. <i>Multiple Rows Ducted Propeller (MRDP)</i> dengan sudut <i>pitch stator</i> 3°	51
6.4.1. Pola Aliran Air	51
6.4.2. <i>Thrust</i> dan <i>Torque</i>	53
6.4.3. Efisiensi <i>Propulsor</i>	54
6.4.4. Efisiensi Sistem Propulsi	54
6.5. <i>Multiple Rows Ducted Propeller (MRDP)</i> dengan sudut <i>pitch stator</i> 6°	54
6.5.1. Pola Aliran Air	54
6.5.2. <i>Thrust</i> dan <i>Torque</i>	56
6.5.3. Efisiensi <i>Propulsor</i>	57
6.5.4. Efisiensi Sistem Propulsi	57
6.6. <i>Multiple Rows Ducted Propeller (MRDP)</i> dengan sudut <i>pitch stator</i> 9°	58
6.6.1. Pola Aliran Air	58
6.6.2. <i>Thrust</i> dan <i>Torque</i>	60
6.6.3. Efisiensi <i>Propulsor</i>	61
6.6.4. Efisiensi Sistem Propulsi	61
6.7. Studi Komparatif <i>Velocity of Advance</i>	61
6.8. Studi Komparatif <i>Thrust</i> dan <i>torque</i>	62

6.9. Studi Komparatif Efisiensi <i>Propulsor</i>	64
6.10. Studi Komparatif Efisiensi Sistem Propulsi	66
BAB 7 KESIMPULAN DAN SARAN	69
7.1. Kesimpulan	69
7.2. Saran	69
DAFTAR PUSTAKA.....	70
LAMPIRAN	71
LAMPIRAN A PERHITUNGAN <i>THRUST</i> DAN <i>TORQUE</i>	
LAMPIRAN B PEMODELAN DIAGRAM K_T - K_Q - J Ka 4-70 DENGAN <i>DUCT</i> 19 A	
LAMPIRAN C PERHITUNGAN KURVA K_T DESAIN	
LAMPIRAN D PERHITUNGAN DIMENSI <i>PROPELLER</i>	
LAMPIRAN E VARIASI SUDUT <i>PITCH STATOR</i>	
LAMPIRAN F PERHITUNGAN EFISIENSI	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 KM Pusri Indonesia I.....	2
Gambar 2.1 <i>Self Propelled Urea Barge</i>	5
Gambar 2.2 <i>Ducted Propeller</i>)	6
Gambar 2.3 Skema Aliran Air <i>Ducted Propeller</i>	7
Gambar 2.4 a) <i>Ducted Propeller (accelerating)</i> . b) <i>Ducted Propeller (decelerating)</i>	7
Gambar 2.5 Penampang <i>Multiple Rows Ducted Propeller</i>	9
Gambar 3.1 Bagan Alir Pengerjaan Tugas Akhir	15
Gambar 4.1 Kurva <i>Propeller K_T-K_Q-J Ka 4-70</i>	20
Gambar 4.2 <i>Duct 19 A Geometry</i>	21
Gambar 4.3 <i>Plotting Kurva</i>	24
Gambar 4.4 Perpotongan Kurva pada P/D 0,6.....	24
Gambar 4.5 Kurva Regresi	25
Gambar 4.6 Mengatur <i>Dimensions</i>	27
Gambar 4.7 <i>Ka 4-70 Propeller</i>	27
Gambar 4.8 <i>Duct 19 A</i>	28
Gambar 4.9 Tampak Depan <i>Ducted Propeller</i>	28
Gambar 4.10 Model <i>Stator 1 Daun</i>	29
Gambar 4.11 Tampak Belakang <i>Multiple Rows Ducted Propeller</i>	29
Gambar 4. 12 Ununiform Flow pada <i>Pucted Propeller</i>	32
Gambar 4. 13 Penampang Potongan Memanjang MRDP ($s=0^\circ$).....	32
Gambar 5.1 Tampak Samping <i>Boundary Condition</i>	34
Gambar 5.2 <i>Boundary Condition Mesh</i>	35
Gambar 5.3 <i>Propulsor Mesh</i>	35
Gambar 5.4 Tahapan <i>Pre-procesors</i>	38
Gambar 5.5 Grafik pada Tahapan <i>Solver</i>	38
Gambar 5.6 Pola Aliran Air pada <i>Ducted Propeller</i>	39
Gambar 5.7 <i>Radial Sampling</i>	39
Gambar 5.8 Kecepatan Aliran Air pada <i>Radial Sampling</i>	40
Gambar 5.9 <i>Thrust</i> pada <i>Ducted Propeller</i>	40
Gambar 5.10 <i>Torque</i> pada <i>Ducted Propeller</i>	40
Gambar 5.11 Kurva <i>Grid Independence</i>	41
Gambar 6.1 Tampak Samping Aliran Air <i>Ducted Propeller</i>	43
Gambar 6.2 Tampak Belakang Aliran Air <i>Ducted Propeller</i>	44
Gambar 6.3 Tampak Depan Aliran Air <i>Ducted Propeller</i>	44
Gambar 6.4 Tampak Depan <i>Radial Sampling</i> pada <i>Ducted Propeller</i>	45
Gambar 6.5 <i>Thrust</i> pada <i>Propeller</i>	45
Gambar 6.6 Tampak Samping Aliran Air MRDP dengan sudut <i>pitch stator</i> 0°	48
Gambar 6.7 Tampak Belakang Aliran Air MRDP dengan sudut <i>pitch stator</i> 0°	48
Gambar 6.8 Tampak Depan Aliran Air MRDP dengan sudut <i>pitch stator</i> 0°	49
Gambar 6.9 Tampak Depan <i>Radial Sampling</i> pada MRDP dengan sudut <i>pitch stator</i> 0°	49
Gambar 6.10 <i>Thrust</i> pada <i>Propeller</i>	50
Gambar 6.11 Tampak Samping Aliran Air MRDP dengan sudut <i>pitch stator</i> 3°	51
Gambar 6.12 Tampak Belakang Aliran Air MRDP dengan sudut <i>pitch stator</i> 3°	52

Gambar 6.13 Tampak Depan Aliran Air <i>MRDP</i> dengan sudut <i>pitch stator</i> 3°	52
Gambar 6.14 Tampak Depan <i>Radial Sampling</i> pada <i>MRDP</i> dengan sudut <i>pitch stator</i> 3°	53
Gambar 6.15 <i>Thrust</i> pada <i>Propeller</i>	53
Gambar 6.16 Tampak Samping Aliran Air <i>MRDP</i> dengan sudut <i>pitch stator</i> 6°	55
Gambar 6.17 Tampak Belakang Aliran Air <i>MRDP</i> dengan sudut <i>pitch stator</i> 6°	55
Gambar 6.18 Tampak Depan Aliran Air <i>MRDP</i> dengan sudut <i>pitch stator</i> 6°	56
Gambar 6.19 Tampak Depan <i>Radial Sampling</i> pada <i>MRDP</i> dengan sudut <i>pitch stator</i> 6°	56
Gambar 6.20 <i>Thrust</i> pada <i>Propeller</i>	57
Gambar 6.21 Tampak Samping Aliran Air <i>MRDP</i> dengan sudut <i>pitch stator</i> 9°	58
Gambar 6.22 Tampak Belakang Aliran Air <i>MRDP</i> dengan sudut <i>pitch stator</i> 9°	59
Gambar 6.23 Tampak Depan Aliran Air <i>MRDP</i> dengan sudut <i>pitch stator</i> 9°	59
Gambar 6.24 Tampak Depan <i>Radial Sampling</i> pada <i>MRDP</i> dengan sudut <i>pitch stator</i> 9°	60
Gambar 6.25 <i>Thrust</i> pada <i>Propeller</i>	60
Gambar 6.26 Kurva <i>Velocity of Advance</i>	62
Gambar 6.27 Kurva <i>thrust propeller</i>	63
Gambar 6.28 Kurva <i>torque propeller</i>	64
Gambar 6.29 Kurva Efisiensi <i>Propulsor</i>	65
Gambar 6.30 Kurva Efisiensi Sistem Propulsi	67

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 <i>Main Dimensions</i> KM Pusri Indonesia	1
Tabel 4.1 <i>Main Dimensions</i> Kapal Pusri Indonesia 1	19
Tabel 4.2 Hasil Uji Tarik	19
Tabel 4.3 <i>Radial Sampling Velocity of Advance</i>	20
Tabel 4.4 Koordinat K_T Desain	23
Tabel 4.5 Pepotongan Kurva K_T Desain dengan K_T	25
Tabel 4.6 <i>Propeller Dimensions</i>	26
Tabel 4.7 Koordinat Duct 19 A	26
Tabel 4.8 <i>Stator Dimensions</i>	27
Tabel 4.9 <i>Inlet Radial Sampling Velocity of advance</i>	30
Tabel 4.10 <i>Inlet Radial Sampling Velocity of advance</i> kapal asli	31
Tabel 5.1 <i>Pre-processor Boundary Condition</i>	36
Tabel 5.2 <i>Pre-processors Propulsor</i>	37
Tabel 5.3 <i>Grid Independence</i>	41
Tabel 5.4 Hasil Validasi Data a) <i>thrust</i> b) <i>torque</i>	42
Tabel 6.1 <i>Thrust dan Torque pada Ducted Propeller</i>	45
Tabel 6.2 Perhitungan Efisiensi <i>Propulsor Ducted Propeller</i>	47
Tabel 6.3 Efisiensi Sistem Propulsi	47
Tabel 6.4 <i>Thrust dan Torque pada MRDP dengan sudut pitch stator 0°</i>	50
Tabel 6.5 Perhitungan Efisiensi <i>Propulsor MRDP dengan sudut pitch stator 0°</i>	50
Tabel 6.6 Efisiensi Sistem Propulsi <i>MRDP dengan sudut pitch stator 0°</i>	51
Tabel 6.7 <i>Thrust dan Torque pada MRDP dengan sudut pitch stator 3°</i>	53
Tabel 6.8 Perhitungan Efisiensi <i>Propulsor MRDP dengan sudut pitch stator 3°</i>	54
Tabel 6.9 Efisiensi Sistem Propulsi <i>MRDP dengan sudut pitch stator 3°</i>	54
Tabel 6.10 <i>Thrust dan Torque pada MRDP dengan sudut pitch stator 6°</i>	57
Tabel 6.11 Perhitungan Efisiensi <i>Propulsor MRDP dengan sudut pitch stator 6°</i>	57
Tabel 6.12 Efisiensi Sistem Propulsi <i>MRDP dengan sudut pitch stator 6°</i>	57
Tabel 6.13 <i>Thrust dan Torque pada MRDP dengan sudut pitch stator 9°</i>	60
Tabel 6.14 Perhitungan Efisiensi <i>Propulsor MRDP dengan sudut pitch stator 9°</i>	61
Tabel 6.15 Efisiensi Sistem Propulsi <i>MRDP dengan sudut pitch stator 9°</i>	61
Tabel 6.16 Rekapitulasi <i>Velocity of Advance</i>	61
Tabel 6.17 Rekapitulasi <i>Thrust dan Torque</i>	63
Tabel 6.18 Rekapitulasi Efisiensi <i>Propulsor</i>	65
Tabel 6.19 Rekapitulasi Efisiensi Sistem Propulsi	66

DAFTAR SIMBOL

B	=	<i>Moulded breadth</i> (m)
C_B	=	Koefisien blok
C_V	=	<i>viscous resistance Coefficient</i>
=		Diameter Propeller
DHP	=	<i>Delivered horse power</i> (hp)
EHP	=	<i>Effective horse power</i> (hp)
F_n	=	<i>Froud number</i>
g	=	Percepatan gravitasi (m/s^2)
J	=	<i>Advance Coefficient</i>
H	=	Tinggi lambung kapal (m)
L	=	Panjang kapal (m)
Loa	=	<i>Length overall</i> (m)
Lpp	=	<i>Length perpendicular</i> (m)
Lwl	=	<i>Length of waterline</i> (m)
n	=	rotasi propeller (1/s)
R_T	=	<i>Total Resistance</i> (kN)
t	=	<i>thrust deduction</i>
T	=	Sarat kapal (m)
T	=	<i>Thrust</i> (kN)
V_S	=	Kecepatan dinas kapal (knot)
V_a	=	<i>Velocity of Advance</i> (knot)
w	=	<i>Wake fraction</i>
η_H	=	<i>Hull efficiency</i>
η_R	=	<i>Relative-rotative efficiency</i>
η_P	=	<i>Propeller efficiency</i>
η_D	=	Efisiensi Sistem Propulsi
ρ	=	Massa Jenis Air (Kg/m^3)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

PT Pupuk Sriwidjaja (PT Pusri) adalah perusahaan yang didirikan sebagai pelopor produsen pupuk urea di Indonesia pada tanggal 24 Desember 1959 yang berlokasi di Palembang Sumatera Selatan. Selain sebagai produsen pupuk nasional, PT Pusri melaksanakan usaha perdagangan, pemberian jasa dan usaha lain yang berkaitan dengan industri pupuk dan juga bertanggung jawab dalam melaksanakan distribusi dan pemasaran pupuk kepada petani di seluruh wilayah Indonesia. Dalam pendistribusian produk, PT Pusri mempunyai 8 unit kapal yang berupa *bulk carrier* dikarenakan lokasi perusahaan berdekatan dengan Sungai Musi, sungai besar di kota Palembang.

Namun, 8 kapal tersebut sudah berusia relatif tua sehingga mengakibatkan kegiatan pendistribusian produk kurang optimal. Di mana seharusnya kapal dapat mengangkut 8.500 ton, namun hanya dapat mengangkut rata-rata 6500 ton dan berakibat pada tingginya *cost per ton* angkutan kapal. Kemudian PT Pusri melakukan pembuatan kapal baru berjenis SPUB yang dinamai KM Pusri Indonesia I. Kapal ini dirancang dapat mengakomodir draft air sungai yang rendah dan memiliki kapasitas sampai dengan 11.000 ton. *Main dimensions* dari KM Pusri Indonesia I seperti yang terlihat pada

Tabel 1.1, sedangkan kapal Pusri Indonesia I sendiri dapat dilihat pada Gambar 1.1.

Tabel 1.1 *Main Dimensions* KM Pusri Indonesia

Panjang keseluruhan (Loa)	134,0 m
Panjang diantara garis tegak (Lpp)	129,1 m
Lebar (B)	26,6 m
Tinggi (H)	11,0 m
Draft (air)	4,2 m
<i>Payload</i> pada draft air	8.500 ton
Draft (air laut)	5,5 m
<i>Payload</i> pada draft air laut	11.000 ton



Gambar 1.1 KM Pusri Indonesia I

Sumber : <http://www.pusri.co.id/ina/berita-amp-kegiatan-berita-terkini/pusri-launching-kapal-pusri-indonesia-i/>

Saat ini, KM Pusri Indonesia I sudah berlayar dengan performa yang baik dan kapal ini berlayar di bawah perusahaan PT Pupuk Indonesia Logistik (PILOG). Namun, performansi kapal masih bisa ditingkatkan lagi demi meningkatkan efektivitas kinerjanya. Ditandai dengan adanya penelitian-penelitian yang sudah dilakukan seperti “*Studi Komparatif Performa Kapal Bertipe Shallow Draft Barge pada Kondisi Perairan Dangkal, Sedang dan Dalam (Anggara. 2013)*”. Penelitian yang pertama ini berfokus pada analisa hambatan dan *seakeeping* pada kapal bertipe *barge* dengan sarat terbatas. Penelitian kedua yaitu “*Analisis Alternatif Hull Form Self-Propelled Barge untuk Meningkatkan Performa Hidrodinamika (Dhana. 2018)*”, dimana berfokus pada analisa penerapan bentuk lambung *X-bow* dan *Axe-bow* pada KM Pusri Indonesia I guna menurunkan hambatan dan meningkatkan kualitas *seakeeping* kapal. Penelitian ketiga yaitu “*Modifikasi Bentuk Buritan pada Shallow Draft Bulk Carrier untuk Meningkatkan Efisiensi Sistem Propulsi (Setiawan. 20014)*”, berfokus pada kajian efisiensi sistem propulsi dengan penambahan *stern wedges* pada bagian buritan kapal. Penelitian keempat yaitu “*Modifikasi Bentuk Lambung pada Shallow Draft Bulk Carrier untuk Menurunkan Konsumsi Bahan Bakar (Ahadyanti.2014)*”, dimana penelitian ini berfokus pada kajian penurunan nilai hambatan yang terjadi pada kapal dengan memodifikasi bentuk lambung.

Dari beberapa penelitian tersebut di atas, belum terdapat penelitian terhadap sistem propulsi kapal guna meningkatkan efisiensi sistem propulsinya. Disisi lain, terdapat penelitian “*An Investigation into The Potential of Multiple Rows Ducted Propellers for Marine Applications (Aryawan. 2003)*” yang membahas mengenai penambahan satu baris *stator* di ujung *ducted propeller* untuk ditinjau efisiensi sistem propulsi kapal. *Multiple rows ducted propeller* memiliki keunggulan efisiensi propulsi yang tinggi.

Sehubungan dengan hal tersebut di atas, penulis mengambil topik Tugas Akhir ini untuk mengkaji modifikasi bentuk *propulsor* dari jenis *ducted propeller* menjadi *multiple rows ducted propeller* yang selanjutnya pada Tugas Akhir ini disebut dengan MRDP.

1.2. Perumusan Masalah

Sehubungan dengan latar belakang di atas, permasalahan yang akan diselesaikan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pola aliran air yang terjadi di belakang *propeller*?
2. Bagaimana nilai *thrust* dan *torque* setelah terjadi modifikasi *propulsor* dari *ducted propeller* menjadi *multipler rows ducted propeller* ?
3. Bagaimana nilai efisiensi sistem propulsi setelah terjadi modifikasi *propulsor* dari *ducted propeller* menjadi *multipler rows ducted propeller*?

1.3. Tujuan

Tujuan dari pengerjaan Tugas Akhir ini yaitu:

1. Mengetahui pola aliran air di belakang *propeller*
2. Mengetahui nilai *thrust* dan *torque* setelah terjadi modifikasi modifikasi *propulsor* dari *ducted propeller* menjadi *multipler rows ducted propeller*
3. Mengetahui nilai efisiensi sistem propulsi setelah terjadi modifikasi *propulsor* dari *ducted propeller* menjadi *multipler rows ducted propeller*.

1.4. Batasan Masalah

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini terdapat beberapa batasan permasalahan yaitu:

1. Objek penelitian ini adakah *Self Propelled Urea Barge* KM Pusri Indonesia I
2. Tipe *propeller* yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah *Ka 4-70 series propeller* dengan *duct 19 A*
3. Tidak dilakukan perhitungan kavitasi *propeller*
4. Jumlah *stator* adalah 8 dengan memakai *NACA 0012*
5. Analisis yang dilakukan meliputi pola aliran air di belakang *propulsor*, nilai *thrust*, nilai *torque* dan nilai efisiensi sistem propulsi
6. Simulasi *Computational Fluid Dynamic* menggunakan *software CFD tools*.

1.5. Manfaat

Dari pengerjaan Tugas Akhir ini, diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Sebagai bahan referensi bagi *designer* dalam memilih jenis *propulsor* dan untuk memudahkan pembangunan kapal yang akan datang.
2. Sebagai model perancangan bagi mahasiswa dengan harapan akan dikembangkan.

1.6. Hipotesis

Hipotesis dari Proposal Tugas Akhir ini yaitu dari penggunaan *multiple rows ducted propeller* pada *shallow draft bulk carrier* dapat meningkatkan efisiensi sistem propulsi kapal.

BAB 2 STUDI LITERATUR

2.1. *Barge*

Barge (tongkang) adalah suatu jenis kapal dengan bentuk lambung yang lebih sederhana dibandingkan dengan kapal pada umumnya dimana lambungnya datar dan berbentuk menyerupai kotak. Lambung *barge* dapat berupa konstruksi tunggal (*single*) maupun ganda (*double*). *Box shaped barge* memiliki bentuk dengan kedua ujungnya datar (*flat*), tampak seperti kotak, sehingga sering disebut dengan istilah *Box Barge*. Sedangkan *Rage Barge* memiliki salah satu dan/atau kedua ujung yang miring atau menyudut pada sudut yang tajam, membuat air dapat mengalir dengan lebih bebas.

Barge umumnya digunakan untuk mengangkut muatan dalam jumlah besar seperti kayu, batubara, pasir dan lain-lain. Kemudian berdasarkan jenis muatan tersebut *barge* digolongkan menjadi beberapa jenis, yaitu *dry bulk cargo barge* untuk penampungan segala macam kargo kering seperti biji-bijian makanan, pasir, bijih besi, batubara dan butiran lainnya. *Barrack barge* yang biasanya digunakan untuk hunian apung di negara Kamboja, Laos, India dan Kanada. *Split hopper barge* yang biasanya digunakan untuk *dredger material* dan umumnya digunakan untuk pembangunan bangunan laut.



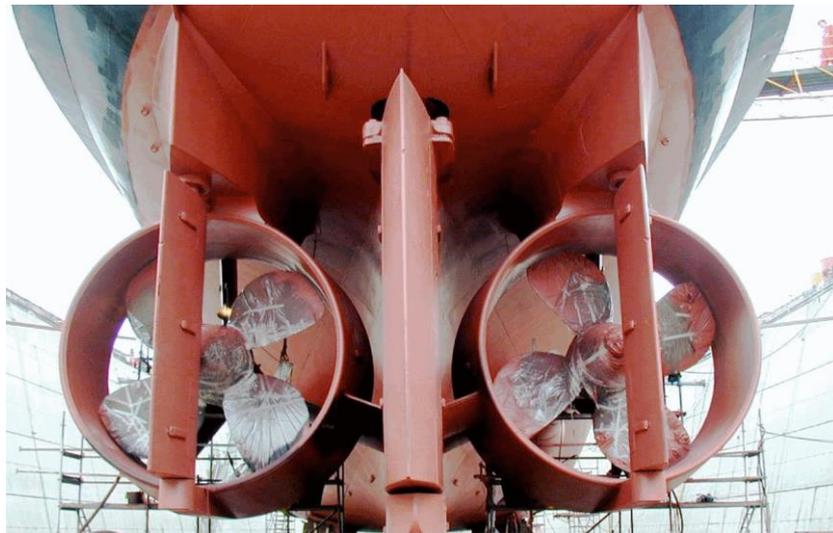
Gambar 2.1 *Self Propelled Urea Barge*

(Sumber : <http://www.rmolsumsel.com/read/2014/06/19/8165/KM-Pusri-Indonesia-I-Layar-Perdana->)

Untuk penggeraknya *Barge* umumnya tidak memiliki sistem pendorong (propulsi) seperti kapal pada umumnya sehingga diperlukan bantuan kapal tunda untuk mendorong atau menariknya. Dalam beberapa dekade terakhir ditemukan inovasi *Self Propelled Barge* (SPB), yaitu *barge* yang memiliki sistem propulsi sendiri beserta ruang akomodasi *crew*. SPB ada beberapa jenis tergantung dengan muatannya, seperti *Self Propelled Urea Barge* (SPUB), *Self Propelled Oil Barge* (SPOB) dan *Self Propelled Coal Barge* (SPCB). Pada Gambar 2.1 merupakan contoh *Self Propelled Urea Barge* (SPUB) milik PT. Pupuk Sriwidjaja yang diberi nama Kapal Pusri Indonesia I

2.2. *Ducted Propeller*

Ducted propeller atau yang biasa dikenal dengan *knort nozzle*, merupakan jenis *propeller* yang berlokasi di dalam sebuah *nozzle*. Penggunaan *ducted propeller* sudah diterapkan pada beberapa dekade terakhir khususnya pada *tug boats* dan *trawlers* dimana yang membutuhkan daya yang tinggi pada sistem propulsinya. Keuntungan penggunaan *ducted propeller* yaitu diantaranya meningkatkan gaya dorong, memiliki efisiensi propulsi yang lebih tinggi, melindungi daun *propeller*, mengurangi kavitasi, getaran dan kebisingan, memiliki kemampuan manuver yang lebih baik dan lain-lain. Pada Gambar 2.2 merupakan contoh kapal yang menggunakan *twin screw of ducted propeller*.

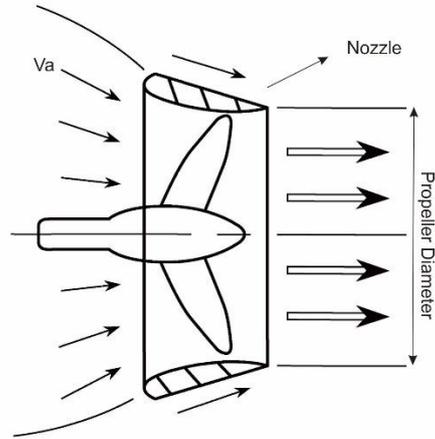


Gambar 2.2 *Ducted Propeller*)

(Sumber : <https://lshipdesign.blogspot.com/2018/04/types-of-propellers.html>)

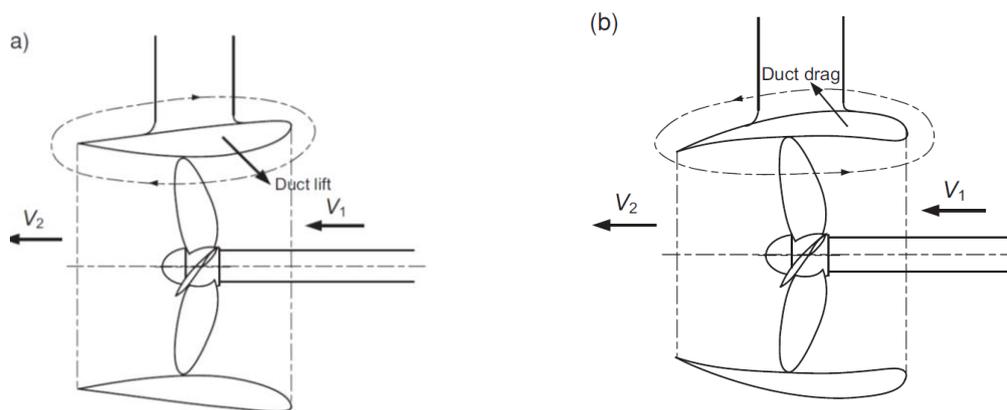
Pada *ducted propeller*, beban gaya dorong diubah dengan adanya pemasangan *airfoil* yang mengelilingi baling-baling sehingga membentuk satu unit baling-baling yang diselubungi

atau baling-baling di dalam tabung (*nozzle*). Tabung ini juga bisa disebut tabung *kort*. *Kort* diambil dari nama Ludwig Kort, yaitu perancang baling-baling dalam tabung (*ducted propeller*) pada tahun 1927.



Gambar 2.3 Skema Aliran Air *Ducted Propeller*
(Sumber : *shipjournal.co*)

Gambar 2.2 merupakan skema aliran alir ketika masuk ke dalam *ducted propeller*. Pemasangan *duct* sangatlah tergantung pada bentuk buritan kapal. Pada kapal yang mempunyai sepatu atau telapak linggi (*sole piece*), dan *duct* biasanya dipasang pada sepatu linggi tersebut. Antara lambung kapal dengan *duct propeller*-nya dihubungkan oleh *nozzle throat* dan biasanya untuk mendapatkan hasil yang optimal maka bentuk buritan kapal akan disesuaikan dengan bentuk *duct*-nya.



Gambar 2.4 a) *Ducted Propeller (accelerating)*. b) *Ducted Propeller (decelerating)*
(Sumber : *Ship Resistance and Propulsion. F Molland*)

Duct dibedakan menjadi 2 jenis berdasarkan dari bentuknya, sebagai berikut :

2.2.1. Accelerating Duct

Gambar 2.3 a) merupakan penampang memanjang dari *accelerating duct. Propeller* jenis ini mengakibatkan aliran air mengalami percepatan ketika memasuki *duct*-nya. Sehingga menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dengan beban gaya dorong tinggi, Jenis ini biasanya ditemukan pada kapal *tugboat*.

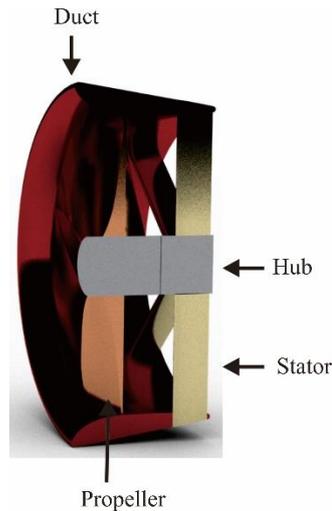
2.2.2. Declarating Duct

Gambar 2.3 b) merupakan penampang memanjang dari *declarating duct. Propeller* jenis ini mengakibatkan aliran air mengalami perlambatan ketika memasuki *duct*-nya. Sehingga menghasilkan efisiensi yang lebih, Dengan maksud menambah tekanan pada propeller untuk mengurangi kavitasi dan kebisingan ketika *propeller* dijalankan Jenis ini biasanya ditemukan pada kapal militer.

2.3. Stator

Stator atau yang biasa juga disebut *fixed guided vanes*, biasanya ditemukan pada jenis propulsi *pump jet*. Dimana *pump jet* biasanya terdiri dari sebuah baris dari pengatur aliran air ketika memasuki *duct (inlet guide vanes)*, yang kemudian diikuti oleh sebaris baling-baling *rotor*. Karakteristiknya, jumlah baling-baling *rotor* dan *stator* diantara 15 dan 20 dengan masing-masing mempunyai jumlah yang berbeda. Umumnya terdapat beberapa variasi dari desain ini dimana jumlah baling-baling dapat dikurangi atau pengatur aliran air masuk dapat (*inlet guide*) ditiadakan. Nilai efisiensi dapat didapatkan tergantung dari desain *rotor*, interaksi antara *rotor-stator* dan baris akhir *stator* yang mengkonversi aliran yang berputar sehingga menghasilkan gaya dorong yang lebih dan mengurangi ukuran baling-baling pengatur untuk mengurangi penurunan akibat gaya gesek (Charlton, 2007).

Pada Gambar 2.5 merupakan penampang pemasangan *stator* pada *ducted propeller*, dimana prinsip pokok dari pemasangan *stator* baik di depan maupun di belakang *propeller* yaitu untuk memperbaiki aliran air yang terjadi di buritan kapal, gaya dorong dan torsi *propeller* sehingga nantinya berpengaruh pada efisiensi sistem propulsi.



Gambar 2.5 Penampang *Multiple Rows Ducted Propeller*

2.4. *Thrust Deduction*

Propeller pada kapal dapat mempercepat aliran yang berada di depannya, dengan demikian maka dapat meningkatkan hambatan gesek dari lambung dan meningkatkan hambatan tekanan. Selain itu, jika persebaran terjadi pada daerah buritan lambung ketika di uji tarik tanpa menggunakan *propeller*, maka dengan penambahan *propeller* dapat menekan persebaran yang terjadi dengan mengurangi perbedaan tekanan yang terjadi pada buritan kapal. Dikarenakan *propeller* dapat mengubah hambatan dari lambung menjadi gaya dorong yang sepadan (F.Molland , 2011). *Thrust* dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$T = \frac{R}{(1-t)} \quad (2.1)$$

Dimana T adalah gaya dorong (*thrust*), R adalah hambatan total (*total resistance*) dan t adalah *thrust deduction*. Berdasarkan data regresi yang dilakukan oleh Holtrop, untuk kapal *twin screws* nilai t-nya ditentukan dengan rumus :

$$t = 0,325C_B - 0,1885 \frac{D}{\sqrt{BT}} \quad (2.2)$$

Dimana :

C_B : koefisien blok kapal

D : diameter *propeller* (m)

B : lebar kapal (m)

T : sarat kapal (m)

2.5. *Velocity of Advance*

Dalam setiap aliran air yang bergerak pada badan kapal dari depan kapal sampai ke bagian buritan kapal, selalu terjadi *wake* / arus ikut (w) yang merupakan perbedaan antara

kecepatan kapal dengan kecepatan air yang melalui baling-baling.(Haarvald,1983). Semakin besar w yang terjadi akan mengakibatkan V_a akan menjadi lebih kecil. Dengan V_a yang semakin kecil maka daya yang diperlukan untuk mendorong kapal agar mencapai kecepatan yang diinginkan akan menjadi lebih besar, berdasarkan rumusan berikut ini :

$$V_a = V_s (1 - w) \quad (2.3)$$

Dimana berdasarkan *wake data regression* yang dilakukan oleh Holtrop untuk kapal *twin screws* , nilai w memiliki rumus :

$$w = 0,3095C_B + 10 C_V C_B - \frac{D}{\sqrt{BT}} \quad (2.4)$$

Wake pada kapal dapat terjadi karena pengaruh lambung kapal itu sendiri (dimana air akan mengalir menuju buritan dan membentuk arus) atau juga karena gerakan baling-baling kapal sehingga pada daerah disekitar baling-baling mengandung arus sesuai arah gerak baling-baling tersebut.

2.6. Efisiensi Sistem Propulsi (η_D)

Dalam melakukan estimasi daya yang dibutuhkan, perlu diketahui terlebih dahulu performa dan karakteristik dari sistem propulsi yang telah dipilih pada tahapan desain, yang mana hal tersebut akan menentukan sistem operasi dan efisiensi dari sistem propulsi secara keseluruhan. Kebutuhan utama pada sistem propulsi kapal merupakan konversi daya (P) yang dimiliki oleh kapal yang berasal dari mesin penggerak utama kapal, yang diubah menjadi gaya dorong (T) yang dibutuhkan untuk menggerakkan kapal pada kecepatan yang diinginkan (V) secara efisien. Pada Tugas Akhir ini yang dikaji hanyalah pada perubahan efisiensi sistem propulsi karena nantinya diharapkan terjadinya peningkatan efisiensi sistem propulsi tanpa harus mengganti mesin kapal. Besarnya efisiensi sistem propulsi η_D dapat dirumuskan seperti dibawah ini menurut (Lewis, 1988).

$$DHP = \frac{EHP}{\eta_D} \quad (2.5)$$

Dimana :

DHP : Daya propulsi kapal (HP)

EHP : Daya efektif kapal (HP)

η_D : Efisiensi sistem propulsi

dari rumusan di atas dapat diambil harga efisiensi sistem propulsi tanpa memperhitungkan daya mesin karena mesin yang digunakan dianggap sama. (Lewis, 1988)

$$\eta_D = \eta_H \cdot \eta_R \cdot \eta_P \quad (2.6)$$

Dimana :

η_D : *Propulsive Efficiency*

η_H : *Hull efficiency*

η_R : *Relative-rotative Efficiency*

η_P : *Propulsor efficiency*

Komponen yang mempengaruhi nilai efisiensi sistem propulsi salah satunya adalah efisiensi lambung (η_H). Sedangkan efisiensi lambung dipengaruhi oleh nilai *wake* (w), nilai *wake* didapatkan dari perhitungan Persamaan (2,4) untuk kapal dengan 2 baling-baling (*twin screws*). Efisiensi lambung dapat dihitung dengan rumus berikut ini menurut (Lewis, 1988).

$$\eta_H = \frac{(1-t)}{(1-w)} \quad (2.7)$$

Dimana :

w : *wake fraction*

t : *thrust deduction*

η_R atau disebut juga dengan *relative rotative efficiency* dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Lewis, 1988).

$$\eta_R = 0,98 \quad (2.8)$$

η_P atau disebut juga dengan efisiensi *propulsor* dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Lewis, 1988).

$$\eta_P = \frac{J K_T}{2 \pi K_Q} \quad (2.9)$$

Efisiensi *propulsor* dapat juga diperoleh dengan menggunakan kurva K_T - K_Q - J suatu *propulsor*. Pada Tugas Akhir ini menggunakan Ka 4-70 *propeller series* dimana di dalam kurva tersebut terdapat kurva K_Q , K_T dan efisiensi sebagai sumbu ordinat dan J sebagai sumbu absis, serta jumlah dari kurva K_T K_Q dan efisiensi ini berdasarkan 5 variasi P/D yang terdapat pada kurva K_T - K_Q - J mili Ka 4-70 *propeller*.

$$K_{T \text{ desain}} : \frac{T J^2}{\rho V_a^2 D^2} \quad (2.10)$$

Dimana :

T : *Thrust* (kN)

J : *advance coefficient*

D : diameter maksimum *propeller* (m)

V_a : *velocity of advance* (m/s)

Dengan memotongkan kurva K_T desain dengan kurva K_T - K_Q - J milik K_a 4-70, yang kemudian hasil perpotongan tersebut dilakukan regresi *polynomial* maka akan ditemukan nilai K_T - K_Q - J optimum. Setelah nilai K_T optimum ditemukan, langkah selanjutnya yaitu mensubstitusikan nilai K_T optimum ke dalam rumus K_T sehingga nilai diameter *propeller* atau rotasi *propeller* dapat ditemukan.

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \quad (2.11)$$

Dimana :

T : *propeller thrust* (N)

n : rotasi *propeller* (1/s)

ρ : massa jenis air (kg/m³)

Selain itu, untuk menentukan nilai K_Q dengan mensubstitusikan nilai torsi *propeller* (Q), diameter *propeller* (D) dan rotasi putaran *propeller* (n) ke dalam rumus di bawah ini :

$$K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5} \quad (2.12)$$

Sedangkan untuk menentukan nilai J , dengan mensubstitusikan nilai *velocity of advance* (V_a), diameter *propeller* (D) dan rotasi putaran *propeller* (n) ke dalam rumus di bawah ini :

$$J = \frac{V_a}{n D} \quad (2.13)$$

Dari ketiga rumus tersebut di atas yaitu pada Persamaan (2.11), Persamaan (2.12) dan Persamaan (2.13) memiliki 2 variabel yang sama yaitu nilai rotasi *propeller* (n) dan diameter *propeller* (D). Dengan menggunakan fungsi eliminasi variabel yang sama, maka nilai efisiensi *propeller* didapatkan sebagai berikut :

$$\eta_P = \frac{V_a T}{2 \pi n Q} \quad (2.14)$$

2.7. *Computational Fluid Dynamic (CFD)*

Computational Fluid Dynamics atau yang biasanya disebut sebagai CFD merupakan cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk memecahkan dan menganalisis masalah yang melibatkan aliran fluida. Komputer digunakan untuk melakukan perhitungan yang diperlukan untuk mensimulasikan interaksi antara zat cair dan gas dengan permukaan yang didefinisikan oleh kondisi batas. (Anderson, 1995)

Dengan berkembangnya zaman dan kecepatan komputasi komputer telah menjadikan analisa CFD salah satu solusi dalam dunia *engineering*. Penggunaannya telah meliputi area yang luas baik di bidang industri maupun aplikasi-aplikasi keilmuan. Dengan menggunakan CFD dapat menghasilkan prediksi yang bersifat kualitatif aliran fluida serta dapat

memperlihatkan pola-pola aliran yang lebih detail dan sulit daripada ketika menggunakan metode eksperimen.

Dalam analisa CFD dibantu komputer, secara umum terbagi menjadi 3 proses yaitu *pre processor*, *solver* dan *post processor*.

2.7.1. Pre Processor

Pada tahapan awal pemrograman ini terdiri dari input masalah aliran untuk *software* melalui *interface* kemudian mengubahnya menjadi bentuk sesuai dengan format yang dikehendaki bagian *solver*. Perlu dilakukan *input* permasalahan sesuai dengan aturan pada *software* yang meliputi :

1. Membentuk geometri benda dan daerah di sekeliling benda sebagai domain komputasi.
2. Membentuk *grid generation* atau membagi domain yang telah ditentukan menjadi bagian yang lebih kecil (sub domain).
3. Penentuan fenomena kimia dan fisika dari model.
4. Penentuan sifat-sifat fluida seperti penentuan harga kekentalan, densitas, temperatur fluida dan lain-lain.
5. Penentuan kondisi batas model geometri, lokasi pembuatan kondisi batas harus ditentukan baik pada daerah di sekeliling benda maupun pada aliran yang diperhitungkan.
6. Penentuan besar kecilnya atau kekasaran *grid/ mesh*

Analisis aliran berupa kecepatan, tekanan atau temperature didefinisikan sebagai suatu daerah yang berupa simpul-simpul tiap *cell*. Jumlah *cell* dalam *grid/ mesh* menentukan akurasi penyelesaian *software* . Pada umumnya semakin banyak *cell* maka semakin akurasi pula penyelesaiannya. Daerah yang memiliki perubahan bentuk sangat tajam biasanya dilakukan *meshing* dengan sangat halus sedangkan untuk daerah yang lain relatif kasar.

2.7.2. Solver

Solver dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu *finite difference*, *finite element*, dan *finite volume*. Secara umum metode *numeric solver* tersebut terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut :

1. Perkiraan variabel yang tidak diketahui dengan menggunakan fungsi sederhana.
2. Diskretasi dengan substansi perkiraan-perkiraan tersebut dengan persamaan-persamaan aliran yang berlaku dan berbagai manipulasi matematika.

2.7.3. Post Processor

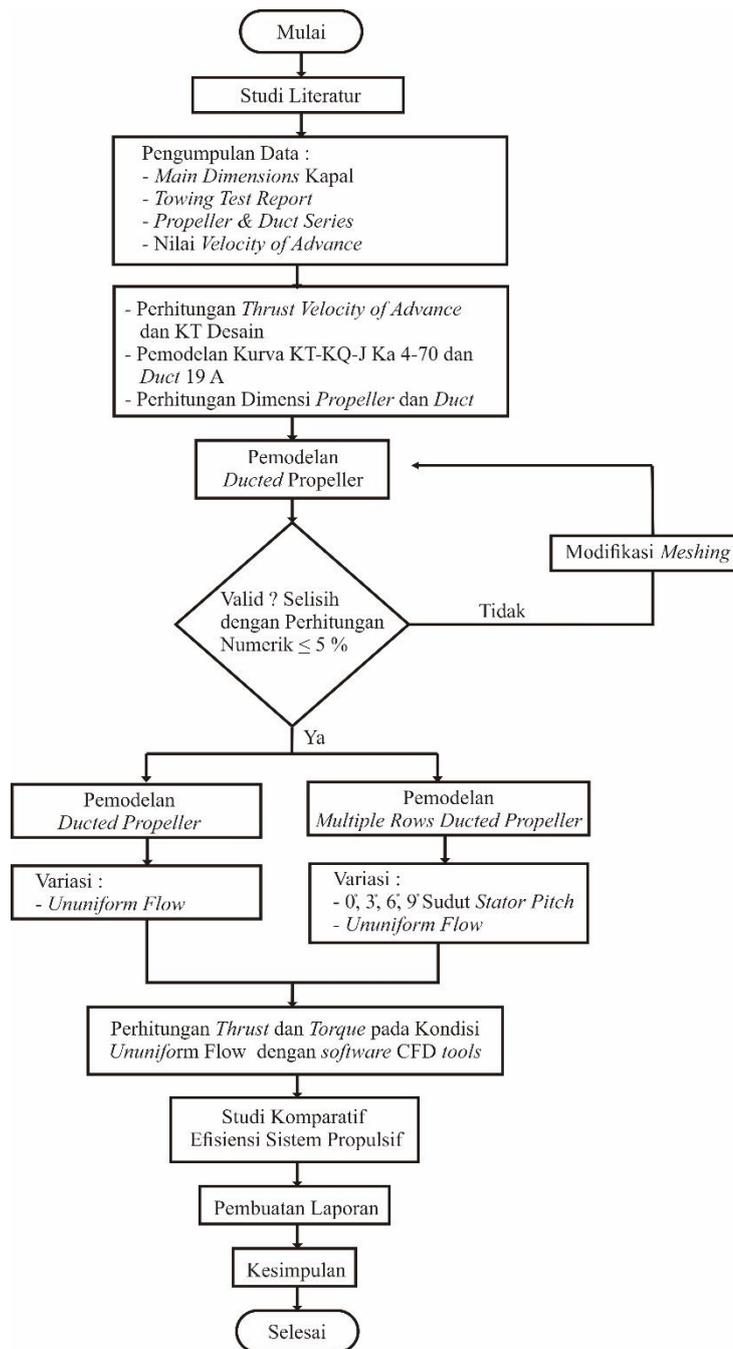
Pada tahapan ini akan ditampilkan hasil perhitungan yang telah dilakukan pada tahapan sebelumnya. Hasil perhitungan dapat dilihat berupa data numerik dan data visual aliran fluida pada model. Data numerik yang diambil adalah data nilai variabel sifat fluida, dimana data tersebut diantaranya :

1. *Thrust*
2. *Torque*
3. *Temperature*
4. *Pressure*
5. *Area*
6. *Velocity*

BAB 3 METODOLOGI

3.1. Bagan Alir

Pada Gambar 3.1 berikut merupakan Bagan Alir dari metodologi pengerjaan Tugas Akhir ini:



Gambar 3.1 Bagan Alir Pengerjaan Tugas Akhir

3.2. Tahapan Pengerjaan Tugas Akhir

3.2.1. Studi Literatur

Merupakan tahapan awal dari pengerjaan Tugas Akhir. Pada tahapan ini dilakukan pengumpulan dan pembelajaran teori-teori yang berkaitan atau berhubungan dengan Tugas Akhir ini. Materi yang menjadi pokok dalam studi literatur Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. *Propeller & duct series*
2. K_T K_Q J *propeller* diagram
3. Perhitungan *thrust* dan *torque* dibantu *software CFD tools*

3.2.2. Pengumpulan Data

Data yang dimaksud adalah segala sesuatu acuan yang digunakan untuk menunjang desain kapal penumpang ini. Data yang dibutuhkan antara lain:

1. *Main dimensions*

Data mengenai *main dimensions* kapal sangatlah diperlukan guna menentukan nilai *thrust deduction* dan *velocity of advance* pada kapal. Dimana nilai *thrust* (T) dan *velocity of advance* (V_a) sangatlah mempengaruhi besar kecilnya nilai K_T desain yang nantinya akan menentukan besarnya dimensi *propeller*.

2. *Towing Test Report*

Towing test report digunakan sebagai *input* data hambatan kapal dalam perhitungan gaya dorong. Nilai hambatan kapal dari hasil uji tarik lebih kredible daripada menggunakan dengan perhitungan hambatan secara manual.

3. *Propeller & duct series*

Untuk mendesain *propeller* yang cocok, maka diperlukan terlebih dahulu diagram K_T K_Q J . Diagram ini bervariasi tergantung dengan *series* *propeller* yang digunakan. Pada Tugas Akhir ini, untuk perhitungan dimensi *propeller* mengacu pada *Ka 4-70 series propeller* dengan *duct 19A*.

4. *Radial Sampling Velocity of Advance pada buritan kapal*

Radial sampling velocity of advance digunakan sebagai variasi *inlet* dalam perhitungan *thrust* dan *torque* pada Tugas Akhir ini. Data ini merupakan data hasil simulasi di buritan kapal dengan meletakkan sebuah lingkaran tempat *propeller* berada. Lingkaran mempunyai jari-jari sesuai jari-jari *propeller*, kemudian dibagi lagi menjadi 5 lingkaran berdasarkan 5 variasi jari-jari (0,2, 0,4, 0,6, 0,8 dan 1,0) dan 12 bagian

berdasarkan 12 variasi sudut (0° , 30° , 60° , 90° , 120° , 150° , 180° , 210° , 240° , 270° , 300° , 330° dan 360°). Setiap perpotongan dari sudut dan jari-jari akan menunjukkan sebuah warna, dari warna tersebut nantinya akan dicocokkan dengan petunjuk warna yang memiliki nilai pada kontur kecepatan di buritan kapal (Setiawan, 2014).

3.2.3. Pengolahan Data

Setelah didapatkan data-data yang diperlukan terkumpul, kemudian dilakukan pengolahan data perhitungan *thrust* dan *velocity of advance*. Dari ketiga variabel tersebut, dilanjutkan perhitungan kurva K_T desain yang rumusnya sesuai pada Persamaan (2.10). Setelah itu kurva K_T desain diplotkan pada kurva K_T K_Q J milik Propeller Ka 4-70. Ditemukanlah titik potong antara kurva K_T desain dengan kurva K_T pada setiap variasi P/D , kemudian dengan regresi *polynomial* didapatkan nilai K_T optimum yang nantinya dapat menentukan besarnya diameter dan kecepatan rotasi propeller.

3.2.4. Pemodelan *Ducted Propeller*

Main dimensions propeller telah didapatkan, kemudian tahapan selanjutnya yaitu pemodelan propeller dengan bantuan *software* komputer. Dalam Tugas Akhir ini, penulis menggunakan bantuan *software* CAD untuk pemodelan *propeller*, *duct* dan *boundary condition* yang akan dianalisa. Selanjutnya melakukan simulasi awal menggunakan *software* *CFD tools* untuk menentukan *grid independence* dan validasi data.

3.2.5. Validasi Data

Untuk menilai apakah hasil simulasi model diterima atau tidak maka ditentukanlah validasi. Dalam tahapan ini, menggunakan acuan Diagram K_T - K_Q - J Ka-470 dengan *duct* 19-A. Adapun maksimal eror untuk validasi data antara hasil simulasi CFD dengan hasil perhitungan K_T - K_Q - J yaitu sebesar 5%.

3.2.6. Pemodelan *Multiple Rows Ducted Propeller*

Setelah model propeller telah tervalidasi, tahapan selanjutnya yaitu melakukan modifikasi pada *propeller* dengan penambahan 8 baling-baling *stator* dan dilakukan variasi sudut *pitch stator* sebanyak 4 buah (0° , 3° , 6° , dan 9°).

3.2.7. Perhitungan *thrust* dan *torque* dibantu dengan *software CFD tools*

Setelah itu, dimasukkanlah data-data yang akan dianalisis dan dilakukanlah simulasi CFD dengan menggunakan *software CFD tools*. Bedanya, dalam simulasi ini aliran bersifat *ununiform flow* atau dengan kata lain dengan memasukkan beberapa variasi kecepatan pada *inlet*. Variasi kecepatan disesuaikan dengan *radial sampling velocity of advance*.

3.2.8. Studi Komparatif Efisiensi Sistem Propulsi

Pada tahapan ini dilakukan analisis terhadap hasil simulasi CFD dengan *software CFD tools*. Data-data yang diperoleh dari simulasi kemudian akan dilanjutkan menuju perhitungan efisiensi sistem propulsi. Dilakukan studi komparatif antara *ducted propeller* dengan *multiple rows ducted propeller* sehingga kesimpulan dari Tugas Akhir ini dapat ditentukan.

3.2.9. Kesimpulan

Dengan mengacu pada hasil studi komparatif yang telah dilakukan dan juga telah sesuai dengan teori-teori atau literatur yang menjadi landasan, maka kesimpulan bisa diambil.

3.2.10. Pembuatan Laporan

Pada tahapan ini, semua hasil laporan dari awal hingga akhir akan didokumentasikan ke dalam laporan akhir. Di dalam laporan akhir telah diperoleh kesimpulan dari Tugas Akhir.

3.3. Spesifikasi Komputer

Guna mendukung berjalannya proses perhitungan *thrust* dan *torque* yang dibantu dengan *software CFD tools*, maka diperlukan spesifikasi tertentu dari komputer agar proses *running* berjalan dengan cepat. Adapun spesifikasi yang digunakan oleh penulis :

<i>Processor</i>	: Intel ® Core™ i5-8300 H CPU @ 2,30 Hz 2,30 Hz
<i>Instaled Memory (RAM)</i>	: 8,00 GB
<i>System Type</i>	: 64-bit <i>operating system</i> , x64-based <i>processor</i>
<i>Operating System</i>	: Windows 10

BAB 4 PERHITUNGAN DAN PEMODELAN

4.1. Pendahuluan

Dalam BAB 4 ini akan dijelaskan mengenai perhitungan dimensi *propeller*. Perhitungan ini mengacu pada metodologi penelitian yang telah dijelaskan pada BAB 3 yang sudah sesuai sumber literatur penelitian yang telah dijelaskan pada BAB 2. Sebelumnya telah dilakukan pengumpulan data oleh penulis dan didapatkan beberapa data data berupa *main dimensions* kapal, *towing test report*, diagram K_T - K_Q - J Ka 4-70 *series propeller* dan *radial sampling of velocity of advance*. Data tersebut sebagai berikut :

Tabel 4.1 *Main Dimensions* Kapal Pusri Indonesia 1

Main Dimensions	Kapal	Model (1 : 43,5)
Panjang keseluruhan (Loa)	134,0 m	3,075 m
Panjang diantara garis tegak (Lpp)	129,1 m	3,050 m
Lebar (B)	26,6 m	0,606 m
Tinggi (H)	11,0 m	0,252 m
Draft (T)	5,4 m	0,124 m
Kecepatan Dinas (V_s)	10 Knots	0,247 knots
	5,144 m/s	0.1182 m

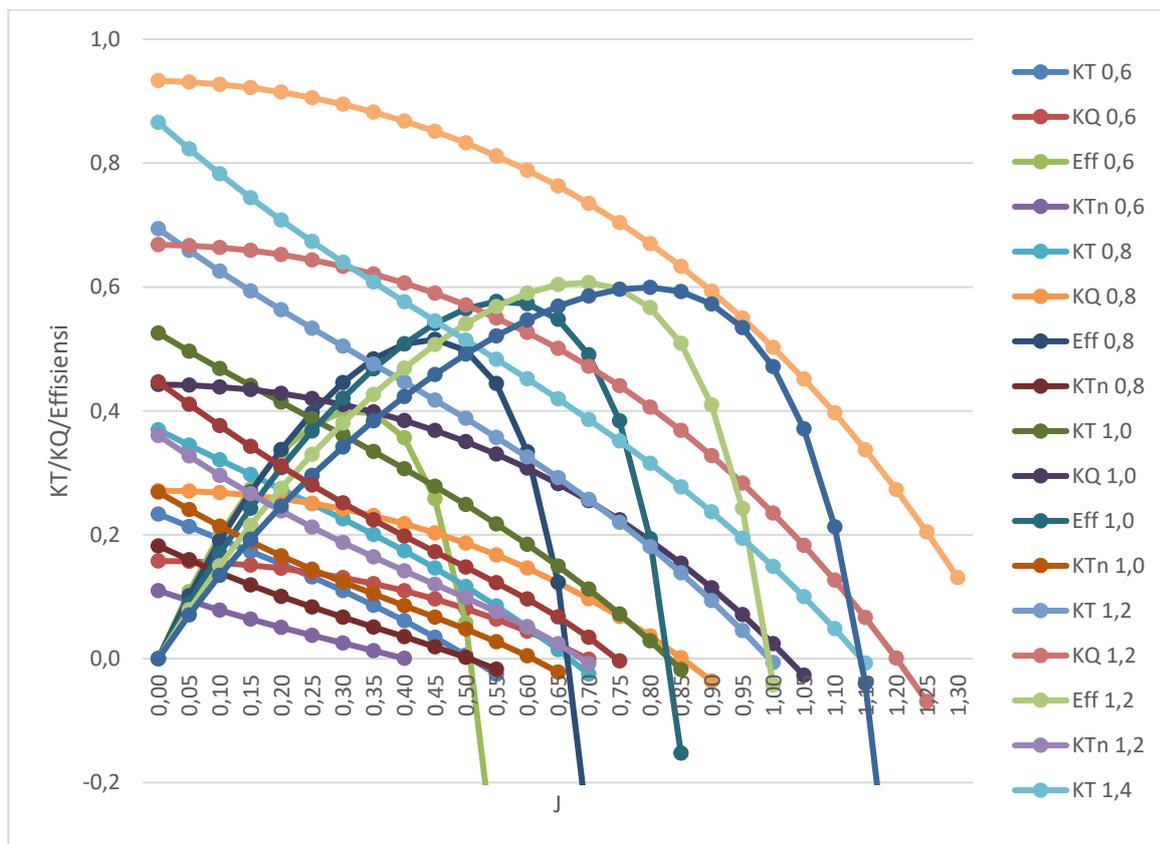
Tabel 4.2 Hasil Uji Tarik

(Sumber : Tes Hambatan Kapal SPUB Pusri Indonesia I. LHI)

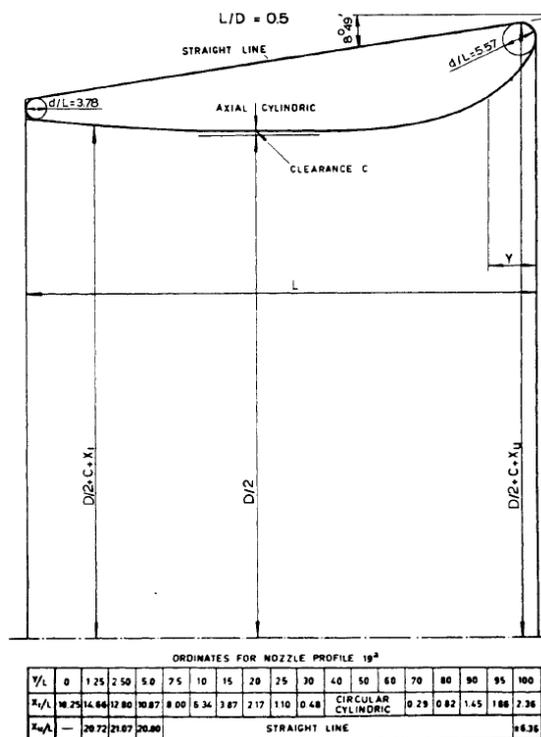
Run ke	V (m/s)	R_T (kN)
1	8	100,477
2	9	110,346
3	9,5	126,138
4	10	141,675
5	10,5	170,457
6	11	194,495

Tabel 4.3 *Radial Sampling Velocity of Advance*
 (Sumber :Modifikasi Bentuk Buritan pada Shallow Draft Bulk Carrier. A Yoni Setyawan)

α (°)	V_a (m/s)				
	0.2 R	0.4 R	0.6 R	0.8 R	R
30	0,0710	0,0674	0,0612	0,0588	0,0551
60	0,0686	0,0612	0,0551	0,0478	0,0416
90	0,0674	0,0588	0,0514	0,0429	0,0367
120	0,0686	0,0612	0,0551	0,0478	0,0416
150	0,0710	0,0674	0,0612	0,0588	0,0551
180	0,0747	0,0747	0,0747	0,0747	0,0747
210	0,0796	0,0845	0,0894	0,0919	0,0943
240	0,0821	0,0906	0,0980	0,1041	0,1102
270	0,0833	0,0931	0,1004	0,1078	0,1139
300	0,0821	0,0906	0,0980	0,1041	0,1102
330	0,0796	0,0845	0,0894	0,0919	0,0943
360	0,0747	0,0747	0,0747	0,0747	0,0747



Gambar 4.1 Kurva *Propeller* K_T - K_Q - J Ka 4-70
 (Sumber :Marine Propellers and Propulsion. J S Carlton)



Gambar 4.2 Duct 19 A Geometry
(Sumber : Principle of Naval Architecture II. Edward V Lewis)

4.2. Perhitungan Thrust dan Velocity of Advance

Thrust merupakan gaya dorong yang dihasilkan oleh kapal dan nilai thrust dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.1) dimana R merupakan hambatan kapal (kN) dan t merupakan thrust deduction. Dalam Tugas Akhir ini nilai hambatan kapal menggunakan hasil uji tarik seperti yang tertera pada Tabel 4.2. Sesuai data main dimensions kapal pada Tabel 4.2, kapal memiliki kecepatan sebesar 10 knots. Sehingga data hambatan yang dipakai adalah model kapal dengan kecepatan 10 knots, maka:

$$R (10 \text{ knots}) = 141,6756 \text{ kN} \quad (4.1)$$

Sedangkan thrust deduction dihitung menggunakan Persamaan (2.2) dengan main dimensions kapal sesuai nilainya pada Tabel 4.1. Dimana D merupakan maksimal diameter propeller yang dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$D = 0,6667 T \quad (4.3)$$

Sedangkan T pada Persamaan (4.3) merupakan sarat kapal kosong (m). Nilai T dengan menggunakan rumus pada "MARPOL ANNEX I Regulation 18" sebagai berikut :

$$T = 2 + 0,02 L \quad (4.4)$$

Dari Persamaan (4.4), L merupakan *load water line* atau garis muat air pada kapal. Sehingga nilai T dan D berturut-turut sebagai berikut :

$$T = 4,68 \text{ m} \quad (4.5)$$

$$D = 3,12 \text{ m} \quad (4.6)$$

Dengan demikian, nilai *thrust deduction* yang dialami kapal bisa dihitung yaitu sebagai berikut:

$$t = 0,325C_B - 0,1885 \frac{D}{\sqrt{BT}}$$

$$t = 0,02 \quad (4.7)$$

Dibutuhkan 2 variabel untuk menghitung nilai *thrust* kapal, yaitu nilai hambatan kapal dan *thrust deduction*. Dari perhitungan tersebut di atas, telah didapatkan nilai hambatan kapal dan *thrust deduction*. Hambatan kapal sesuai pada Persamaan (4.1) sedangkan *thrust deduction* sesuai dengan Persamaan (4.7). Sehingga *thrust* yang dialami kapal dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.1).

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

$$T = 144,567 \text{ kN} \quad (4.8)$$

Velocity of advance (V_a) merupakan fenomena aliran air yang berada di buritan kapal dan nilai V_a dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.3). Dimana V_s merupakan kecepatan dinas kapal (m/s) dan w merupakan *wake fraction* yang. Sebagai berikut rumus untuk menghitung nilai V_a :

$$V_a = V_s (1 - w) \quad (4.9)$$

Kemudian nilai *wake fraction* yang dihitung menggunakan rumus pada Persamaan (2.4) dengan rumus sebagai:

$$w = 0,3095C_B + 10 C_V C_B - \frac{D}{\sqrt{BT}} \quad (4.10)$$

Dimana nilai C_B , B dan T diperoleh berdasarkan Tabel 4.1, kemudian nilai D merupakan desain maksimum diameter *propeller* yang diperoleh berdasarkan Persamaan (4.6). Perhitungan nilai C_V mengacu pada Buku “*Principal of Naval Architecture Volume II, halaman 162*”, dan besarnya nilai C_V pada Tugas Akhir ini yaitu

$$C_V = 0,0029 \quad (4.11)$$

Sehingga dengan mensubstitusikan beberapa variabel yang telah tersebut di atas, maka besarnya *wake fraction* adalah sebagai berikut :

$$w = -0,013 \quad (4.12)$$

Dengan mensubstitusikan Persamaan (4.10) dan kecepatan dinas kapal pada Tabel 4.1, maka besarnya nilai V_a pada kapal adalah sebagai berikut :

$$V_a = 5,211 \text{ m/s} \quad (4.13)$$

4.3. Perhitungan Kurva K_T Desain

Kurva $K_{T \text{ Desain}}$ digunakan untuk memperoleh *propeller dimensions* dengan cara kurvamemotongkan kurva $K_{T \text{ Desain}}$ dengan kurva K_T - K_Q - J *propeller* untuk mendapatkan nilai yang optimum. Pembuatan kurva $K_{T \text{ Desain}}$ dengan menggunakan Persamaan (2.10), rumus tersebut sebagai berikut :

$$K_{T \text{ desain}} : \frac{T J^2}{\rho V_a^2 D^2} \quad (4.14)$$

Dimana T merupakan *thrust* (kN) , J merupakan *advance coefficient*, ρ merupakan massa jenis air (kg/m^3), V_a merupakan *velocity of advance* dan D merupakan diameter maksimum *propeller*. Untuk nilai T diperoleh berdasarkan Persamaan (4.8), nilai J disubstitusikan sesuai variasi J yang ada pada Gambar 4.1, nilai V_a diperoleh dari Persamaan (4.13) dan diameter maksimum *propeller* diperoleh berdasarkan Persamaan (4.6).

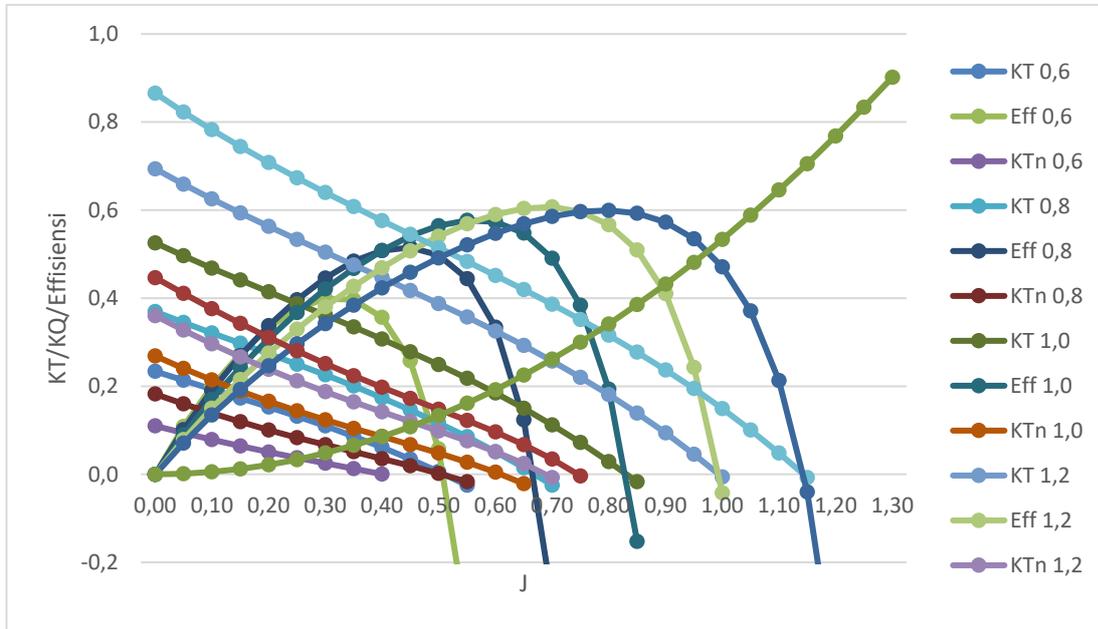
Dengan mensubstitusikan nilai variabel yang sudah tersebut di atas, maka nilai koordinat-koordinat kurva dapat ditemukan dengan jumlah 27 titik korrdinat. Dalam kurva $K_{T \text{ Desain}}$ ini, sumbu absis merupakan variasi J yang dipakai dalam perhitungan sedangkan sumbu ordinat merupakan nilai-nilai K_T hasil perhitungan.

Tabel 4.4 Koordinat $K_{T \text{ Desain}}$

J	$K_{T \text{ Desain}}$	J	$K_{T \text{ Desain}}$
0,00	0	0,65	0,225376006
0,05	0,001333586	0,70	0,261382824
0,10	0,005334343	0,75	0,300056813
0,15	0,012002273	0,80	0,341397974
0,20	0,021337373	0,85	0,385406307
0,25	0,033339646	0,90	0,432081811
0,30	0,048009090	0,95	0,481424487
0,35	0,065345706	1,00	0,533434334
0,40	0,085349494	1,05	0,588111354
0,45	0,108020453	1,10	0,645455545
0,50	0,133358584	1,15	0,705466907
0,55	0,161363886	1,20	0,768145442
0,60	0,192036360	1,25	0,833491148
		1,30	0,901504025

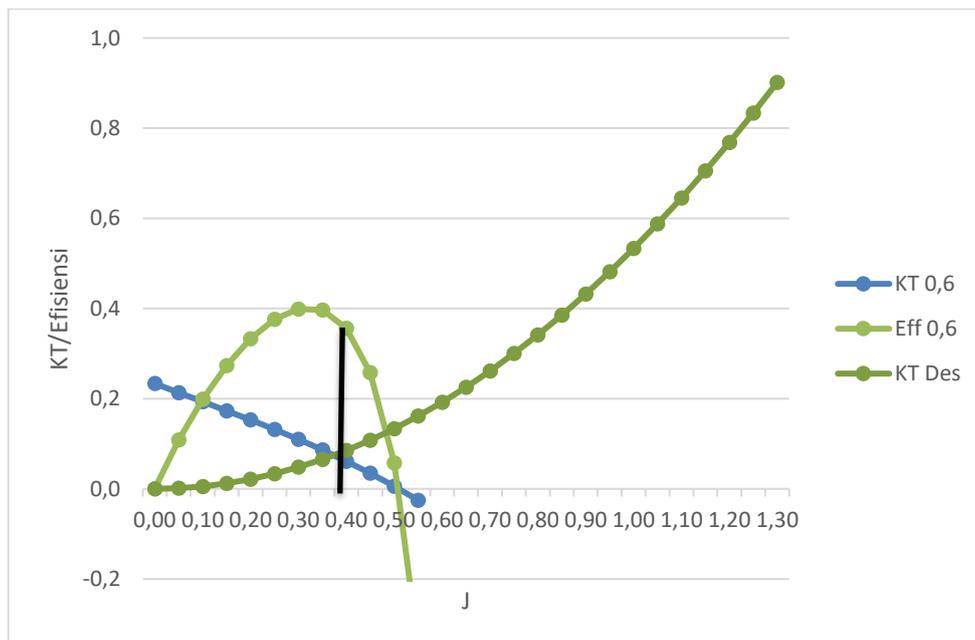
4.4. Perhitungan Dimensi *Propeller*

Kurva K_T Desain digambarkan ke dalam diagram K_T - K_Q - J Ka 4-70 *propeller* untuk mengetahui letak titik potongnya dan hasilnya penggambaran ini bias dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 *Plotting Kurva*

Kemudian kurva K_T Desain dipotongkan dengan semua kurva K_T yang ada dan pada Gambar 4.4 merupakan contoh salah satu perpotongan antara kurva K_T Desain dengan kurva K_T pada P/d 0,6.



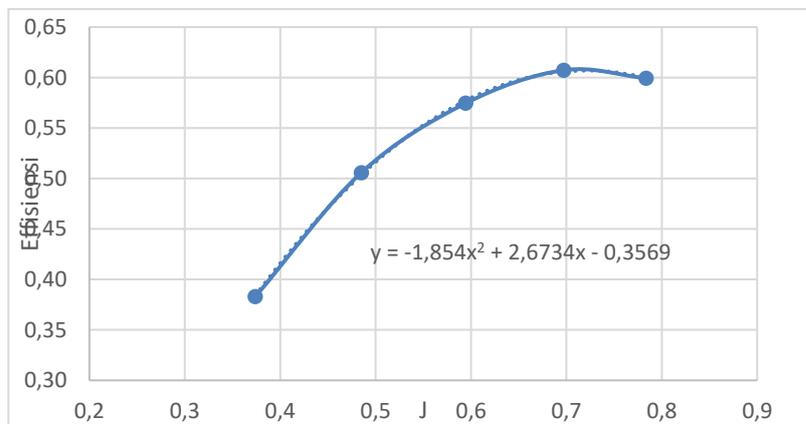
Gambar 4.4 *Perpotongan Kurva pada P/D 0,6*

Setelah itu, titik potong antara Kurva K_T Desain dengan kurva K_T Ka 4-70 pada variasi P/D 0,6 tersebut ditarik garis lurus sampai menyentuh kurva efisiensi dan ke bawah sampai menyentuh sumbu absis. Dalam titik potong ini terdapat koordinat x dan y, untuk sumbu x mewakili nilai J sedangkan untuk sumbu y mewakili nilai efisiensi *propeller*. Hasil dari titik potong Kurva K_T Desain dengan K_T dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Pepotongan Kurva K_T Desain dengan K_T

P/D	K _T	
	x	y
0,6	0,374	0,383
0,8	0,485	0,506
1	0,594	0,575
1,2	0,697	0,607
1,4	0,784	0,599

Kemudian dari 5 titik potong tersebut dilakukan regresi *polynomial* yang hasilnya seperti pada Gambar 4.5. Hasil dari regresi ini berupa persamaan *polynomial* yang selanjutnya dilakukan perhitungan diferensial untuk menentukan titik K_T dan efisiensi yang optimum.



Gambar 4.5 Kurva Regresi

Setelah itu, mencari *range* nilai K_T optimum terhadap beberapa titik potong dari kurva K_T dan kurva K_T - K_Q - J yang tertera pada Tabel 4.5. Dalam Tugas Akhir ini, nilai K_T dan efisiensi yang optimum terletak diantara variasi P/D 1,2 dan P/D 1,4. Kemudian dilakukan interpolasi linear 2 titik antara variasi P/D 1,2 dengan P/D 1,4 untuk mendapatkan nilai P/D yang optimum, hasilnya sebagai berikut:

$$K_T = 0,2773 \quad (4.15)$$

$$J = 0,721 \quad (4.16)$$

$$\frac{P}{D} = 1,253 \quad (4.17)$$

$$\eta_p = 0,6068 \quad (4.18)$$

Diameter *propeller* dapat dihitung dengan Persamaan (2.10) dengan mensubstitusikan variable-variabel yang ada. Untuk nilai T didapat dari Persamaan (4.8), nilai J dari Persamaan (4.1), nilai ρ merupakan massa jenis air (kg/m^3) dan nilai V_a dari Persamaan (4.13). Untuk nilai rotasi *propeller* dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.11) dengan mengganti nilai diameter maksimum *propeller* menjadi nilai diameter hasil perhitungan. Dengan demikian *propeller dimensions* sudah didapatkan dan dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 *Propeller Dimensions*

Dimensions		
Type	Ka 4-70 Propeller	
Z =	4	Buah
AE/AO	0,7	
P/D	1,2528	
Diameter	3,1201	m
Pitch	3,9088	m
RPM	2,3167	rev/sec

Untuk *duct* yang dipakai bertipe *Duct 19 A* dengan geometri seperti pada Gambar 4.2, dimana D merupakan diameter *propeller*, L merupakan panjang *duct* dan c merupakan *clearance tip* antara *propeller* dengan *duct* yang mempunyai nilai sebesar $0,01 D$. Sedangkan untuk perhitungan koordinat *duct* juga mengacu pada Gambar 4.2 dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.7 dengan x merupakan titik absis, y_u merupakan koordinat *duct* bagian atas dan y_i merupakan koordinat *duct* bagian dalam.

Tabel 4.7 Koordinat *Duct 19 A*

x	y _i	y _u	x	y _i	y _u
0,00000	0,28471	0,00000	0,46801	0,00749	0,00000
0,01950	0,22870	0,32324	0,62402	0,00000	0,00000
0,03900	0,19969	0,32870	0,78002	0,00000	0,00000
0,78002	0,16958	0,32449	0,93602	0,00000	0,00000
0,11700	0,12480	0,00000	1,09203	0,00452	0,00000
0,15600	0,09891	0,00000	1,24803	0,01279	0,00000
0,23401	0,06037	0,00000	1,40404	0,02262	0,00000
0,31201	0,03385	0,00000	1,48204	0,02902	0,09922
0,39001	0,01716	0,00000	1,56004	0,03682	0,00000

Kemudian untuk variasi dalam Tugas Akhir ini yaitu dengan pemasangan *stator* di ujung *duct* yang mempunyai ukuran sebagai berikut :

Tabel 4.8 *Stator Dimensions*

Tipe =	Naca 0012	
D =	3,4	m
L =	0,4	m
Z =	8	buah
Sudut Pitch =	0°, 3°, 6°, dan 9°	

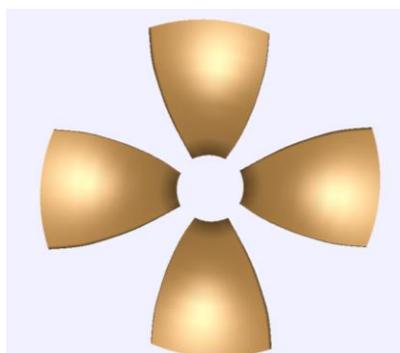
4.5. Pemodelan *Propulsor*

Dimensi *propeller* telah diperoleh seperti yang tertera pada Tabel 4.6. Kemudian cara pemodelan *propeller* yaitu dengan memasukkan data diameter dan *pitch* pada *software* CAD. Selain itu, diatur juga dengan jenis FPP *propeller*, arah putaran ke kanan dan sudut *rake* 0° seperti yang tertera pada Gambar 4.6.

Prop Summary		
Type	FPP	
Rotation	Right	
Blades	4	
Diameter	3,120	m
Nominal pitch	3,901	m
Rake of GL aft	0,000	deg
Expanded BAR	0,000	
Skew angle	0,0	deg

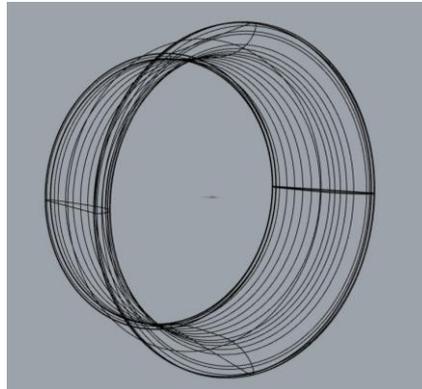
Gambar 4.6 Mengatur *Dimensions*

Selanjutnya mengatur tipe *propeller* pada menu *edit* → *section definition* → *builder*. Di dalam bagian *blade geometry* dan *thickness* disesuaikan dengan tipe Kaplan *Series* dengan *blade area ratio* (BAR) sebesar 0,7. Hasil dari pengaturan ini bisa dilihat pada Gambar 4.7.



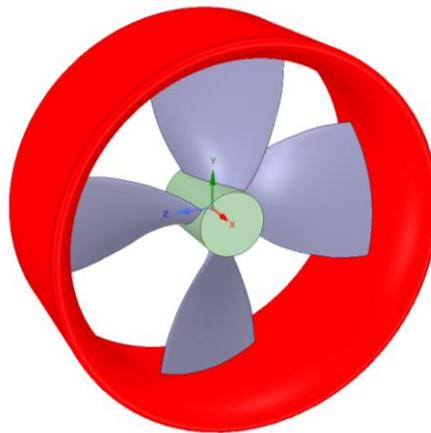
Gambar 4.7 Ka 4-70 *Propeller*

Cara pemodelan *duct* yaitu dengan memasukkan koordinat *duct* pada *software* CAD. Setelah itu, *duct* diubah ke dalam bentuk 3D dengan menggunakan fungsi *revolve* dan hasilnya bisa dilihat pada pada Gambar 4.8.



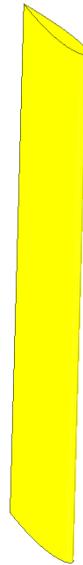
Gambar 4.8 *Duct* 19 A

Penempatan *propeller* di dalam *duct* sesuai pada Gambar 4.2, dimana *propeller* ditempatkan pada jarak 0,5 L dari ujung lingkaran kecil *duct*. Kemudian *duct* dan *propeller* diubah dalam format IGS dengan bantuan *software* CAD. Di dalam format IGS, *propeller* masih berupa *surface* dan mempunyai 1 daun. Dengan menggunakan menu *repair* dan *toolbar circular pattern*, maka akan mengubah dari bentuk *surface* ke *solid* dan dari 1 buah daun menjadi 4 buah daun seperti pada Gambar 4.9, sehingga *ducted propeller* siap dianalisis.



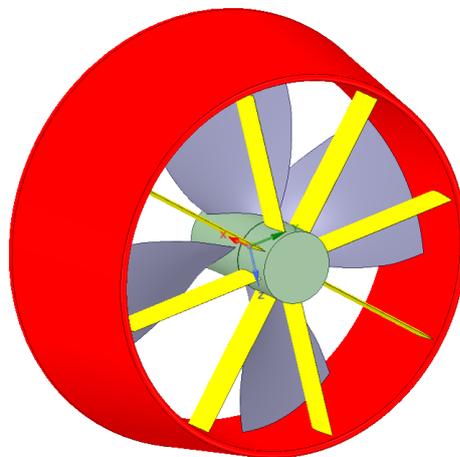
Gambar 4.9 Tampak Depan *Ducted Propeller*

Dalam Tugas Akhir ini, profil NACA 0012 dipilih sebagai *stator* yang di pasang pada ujung *propeller hub* dan jumlah *stator* ditentukan sebanyak 8 daun. Cara pemodelan *stator* yaitu dengan memasukkan koordinat profil NACA 0012, Kemudian dengan menggunakan fungsi *extrude* pada *software* CAD, *stator* akan memanjang sesuai pada ukuran *main dimensions stator* dan hasilnya bisa dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Model *Stator* 1 Daun

Dengan menggunakan menu *repair* dan *toolbar circular pattern*, akan mengubah dari bentuk *surface* ke *solid* dan dari 1 buah daun menjadi 8 buah daun seperti yang tampak pada Gambar 6.30, sehingga *stator* bisa dipasang pada *propeller* dan siap dianalisis.



Gambar 4.11 Tampak Belakang *Multiple Rows Ducted Propeller*

4.6. Variasi

Variasi pada Tugas Akhir ini yaitu dengan penerapan kondisi *ununiform flow* pada simulasi CFD dan pemasangan 8 buah *stator* di ujung *ducted propeller* dengan melakukan variasi sudut *pitch stator* sebanyak 4 buah (0° , 3° , 6° , dan 9°).

4.6.1. *Ununiform Flow*

Ketika simulasi CFD propeller yang dipasang pada lambung kapal, akan memerlukan proses *running* yang lama dikarenakan jumlah elemen yang terlalu besar. Sehingga, untuk

mengatasi hal tersebut, dilakukan modifikasi *inlet* pada *boundary condition* dengan memasukkan nilai *inlet* yang bervariasi (*ununiform flow*) dimana sesuai pada aliran air yang terjadi dibelakang lambung kapal. Hal ini sudah pernah dilakukan pada penelitian sebelumnya dengan menghasilkan data aliran berupa *radial sampling velocity of advance*.

Radial sampling velocity of advance, merupakan data hasil simulasi di buritan kapal dengan ,meletakkan sebuah lingkaran tempat *propeller* berada. Lingkaran mempunyai jari-jari sesuai jari-jari *propeller*, kemudian dibagi lagi menjadi 5 lingkaran berdasarkan 5 variasi jari-jari (0,2, 0,4, 0,6, 0,8 dan 1,0) dan 12 bagian berdasarkan 12 variasi sudut (0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180°, 210°, 240°, 270°, 300, 330° dan 360°). Setiap perpotongan dari sudut dan jari-jari akan menunjukkan sebuah warna, dari warna tersebut nantinya akan dicocokkan dengan petunjuk warna yang memiliki nilai pada kontur kecepatan di buritan kapal (Setiawan, 2013). Data *radial sampling velocity of advance* tertera pada Tabel 4.3 dengan pemodelannya menggunakan *software CAD*. Untuk memudahkan *input* data pada Tabel 4.3, maka dilakukan penamaan model *inlet* sebagai berikut ini :

$$\underline{I\ 2\ 30} \tag{4.19}$$

Dimana huruf I melambangkan *Inlet* atau dimana data tersebut akan dipakai dan jika untuk *outlet* maka menggunakan huruf O. Angka 2 melambangkan 0,2 R atau 0,2 dari jari-jari *propeller* dan sedangkan angka 30 melambangkan sudut 30°. Hasil dari penamaan *radial sampling velocity of advance* untuk bagian *inlet* sebagai berikut :

Tabel 4.9 *Inlet Radial Sampling Velocity of advance*

α (°)	V_a (knots)				
	0.2 R	0.4 R	0.6 R	0.8 R	R
30	I 2 30	I 4 30	I 6 30	I 8 30	I 10 30
60	I 2 60	I 4 60	I 6 60	I 8 60	I 10 60
90	I 2 90	I 4 90	I 6 90	I 8 90	I 10 90
120	I 2 120	I 4 120	I 6 120	I 8 120	I 10 120
150	I 2 150	I 4 150	I 6 150	I 8 150	I 10 150
180	I 2 180	I 4 180	I 6 180	I 8 180	I 10 180
210	I 2 210	I 4 210	I 6 210	I 8 210	I 10 210
240	I 2 240	I 4 240	I 6 240	I 8 240	I 10 240
270	I 2 270	I 4 270	I 6 270	I 8 270	I 10 270
300	I 2 300	I 4 300	I 6 300	I 8 300	I 10 300
330	I 2 330	I 4 330	I 6 330	I 8 330	I 10 330
360	I 2 360	I 4 360	I 6 360	I 8 360	I 10 360

Selain itu, data *radial sampling velocity of advance* dari Tabel 4.3 masih dalam bentuk kecepatan model. Dengan menggunakan perbandingan *froude number* antara ukuran model dengan ukuran kapal asli, maka kecepatan kapal asli akan diketahui. Sebagai berikut rumus persamaan *froude number* :

$$f_n = \frac{V}{\sqrt{gL}} \quad (4.20)$$

Dimana V merupakan kecepatan dinas kapal, g merupakan kecepatan gravitasi dan L merupakan panjang kapal. Nilai g yang dipakai sebesar 9,81 m/s sedangkan untuk nilai v dan l diperoleh dari Tabel 4.1 untuk model kapal. Sehingga diperoleh nilai f_n model kapal sebesar:

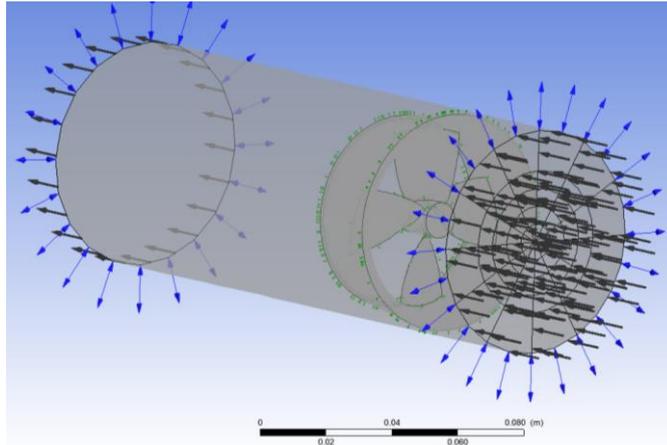
$$f_n = 0,1323 \quad (4.21)$$

Kecepatan kapal asli dapat diperoleh dengan perbandingan antara *froude number* model kapal dengan kapal asli. Dengan mensubstitusikan nilai f_n model sesuai dengan Persamaan (4.21), kemudian L adalah Panjang kapal asli, maka sesuai Persamaan (4.20) kecepatan kapal asli dapat diketahui. Berikut pada merupakan rekapitulasi hasil perhitungan dari *radial velocity of advance*.

Tabel 4.10 *Inlet Radial Sampling Velocity of advance* kapal asli

α (°)	V_a (m/s)				
	0.2 R	0.4 R	0.6 R	0.8 R	R
30	1,4816	1,4050	1,2771	1,2260	1,1495
60	1,4305	1,2771	1,1495	0,9962	0,8685
90	1,4050	1,2260	1,0729	0,8940	0,7663
120	1,4305	1,2771	1,1495	0,9962	0,8685
150	1,4816	1,4050	1,2771	1,2260	1,1495
180	1,5581	1,5581	1,5581	1,5581	1,5581
210	1,6603	1,7625	1,8647	1,9158	1,9669
240	1,7114	1,8904	2,0435	2,1713	2,2990
270	1,7371	1,9413	2,0946	2,2479	2,3755
300	1,7114	1,8904	2,0435	2,1713	2,2990
330	1,6603	1,7625	1,8647	1,9158	1,9669
360	1,5581	1,5581	1,5581	1,5581	1,5581

Data dari Tabel 4.10 kemudian dimodelkan dengan bantuan *software* CFD yang dimana hasilnya bisa dilihat pada Gambar 4.12 di bawah ini.



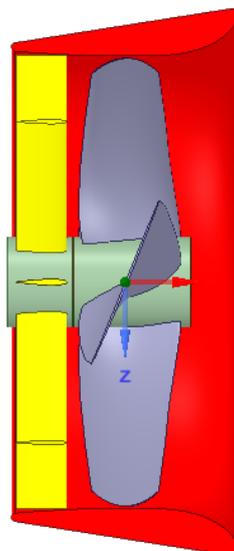
Gambar 4.12 *Ununiform Flow* pada Pucted Propeller

4.6.2. *Multiple Rows Ducted Propeller*

Multiple rows ducted propeller merupakan salah satu modifikasi *ducted propeller* dengan menambahkan *stator* di ujung belakang *hub propeller*. Dalam Tugas Akhir ini dilakukan dilakukn variasi pada sudut *pitch* sebanyak 4 buah yaitu 0° , 3° , 6° , dan 9° . Untuk Memudahkan dalam penyebutan, maka dilakukanlah penamaan sebagai berikut ini :

$$\underline{\text{MRDP}} (s-0^\circ) \quad (5.2)$$

Dimana MRDP merupakan kepanjangan dari *multiple rows ducted propeller* dan $(s-0^\circ)$ merupakan *pitch stator* dengan variasi sudut 0° . Tujuan dilakukan variasi ini yaitu untuk menentukan nilai efisiensi ssstem propulsi yang paling tinggi. Pemodelan sudut *pitch stator* yaitu dengan menggunakan fungsi *rotate* pada *software CAD*, sehingga *pitch stator* bisa berputar sesuai sudut yang diinginkan. Hasil pemodelan bisa dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Penampang Potongan Memanjang MRDP $(s-0^\circ)$

BAB 5

SIMULASI DAN HASIL SIMULASI

5.1. Pendahuluan

Dari BAB 4 diperoleh *propeller dimensions* dan model 3D yang siap untuk disimulasikan. Selanjutnya pada BAB 5 ini akan dijelaskan mengenai cara simulasi dengan menggunakan *software CFD tools*. Diawali dengan pengaturan batasan daerah yang akan dianalisis (*boundary condition*), kemudian mengatur *pre-processor*, menentukan batas konvergen data dan cara pengambilan data hasil simulasi. Selain itu, perbandingan data dilakukan untuk menentukan kevalidan data hasil simulasi CFD dibandingkan data hasil perhitungan manual.

5.2. Simulasi *Computational Fluid Dynamic*

Pada Tugas Akhir ini tujuan dari simulasi CFD yaitu untuk memperoleh nilai *thrust* dan *torque propeller* yang nantinya akan digunakan untuk perhitungan efisiensi sistem propulsi. *Software* yang dipakai untuk simulasi yaitu *CFD tools* dengan tahapan simulasi yaitu sebagai berikut :

5.2.1. Tahapan Geometri

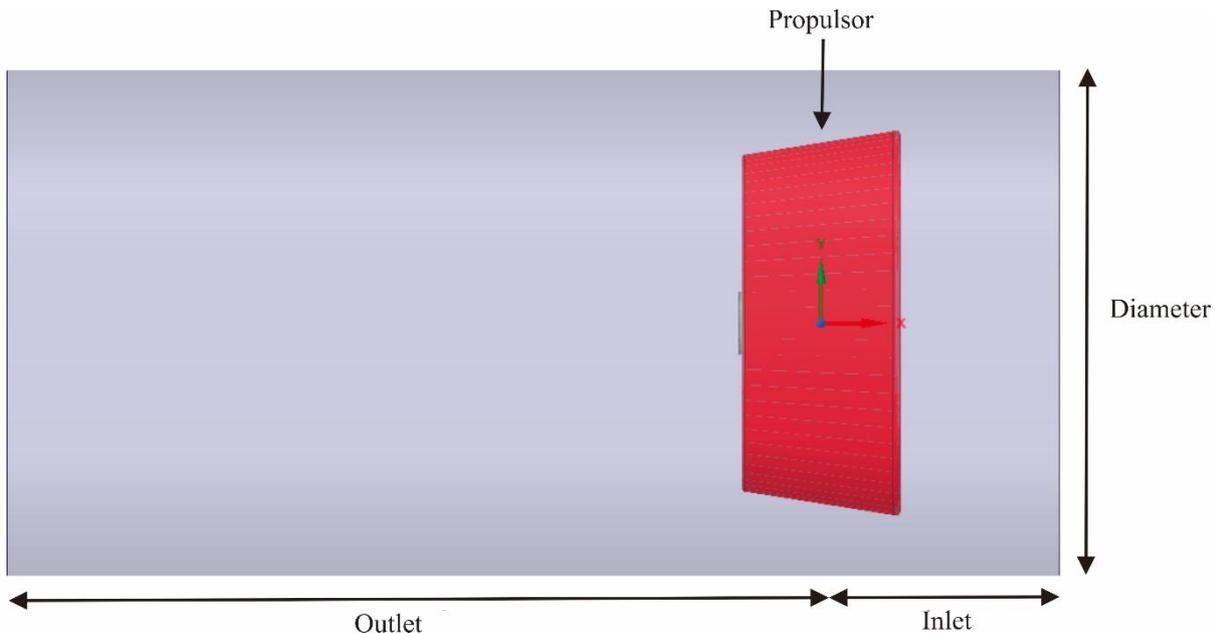
Garis besar pada tahapan geometri yaitu penentuan model dan *boundary condition*. Untuk model sudah diperoleh dari BAB 4, sedangkan untuk *boundary condition* merupakan Batasan area yang akan dianalisis. Semakin besar *boundary condition*, maka proses *running* akan semakin lama. Ukuran *boundary condition* sendiri sesuai dengan ukuran yang optimum, sesuai dengan ketentuan yang ada pada “ITTC 2014 for Open Water Test Procedures”. Pada peraturan tersebut, bentuk dari *boundary condition* adalah sebuah tabung dengan ukuran sebagai berikut:

1. Jarak sisi depan (*inlet*) terhadap model minimal sebesar 1,5 D
2. Jarak sisi belakang (*outlet*) terhadap model minimal sebesar 5 D
3. Diameter dinding batas (*wall*) minimal sebesar 1,5 D

Dimana D adalah diameter dari *propeller* dan untuk pembuatan *boundary condition* menggunakan *software CAD*. Caranya yaitu menggambar persegi panjang dengan ukuran sesuai yang tersebut diatas. Kemudian menggunakan fungsi *revolve* agar bentuk persegi

panjang berubah menjadi tabung dan kemudian file disimpan dalam format IGS. Setelah itu dengan bantuan fungsi *repair* tabung akan berubah dari *surface* menjadi solid sehingga siap dianalisis.

Propeller dan *duct* ditempatkan pada *boundary condition* dengan menu *Insert* → *File*, lalu dibuatlah *enclosure* dari *boundary condition* yang telah dibuat terhadap *propulsor*. Hasil dari pemodelan *boundary condition* bisa dilihat pada Gambar 5.1 di bawah ini.

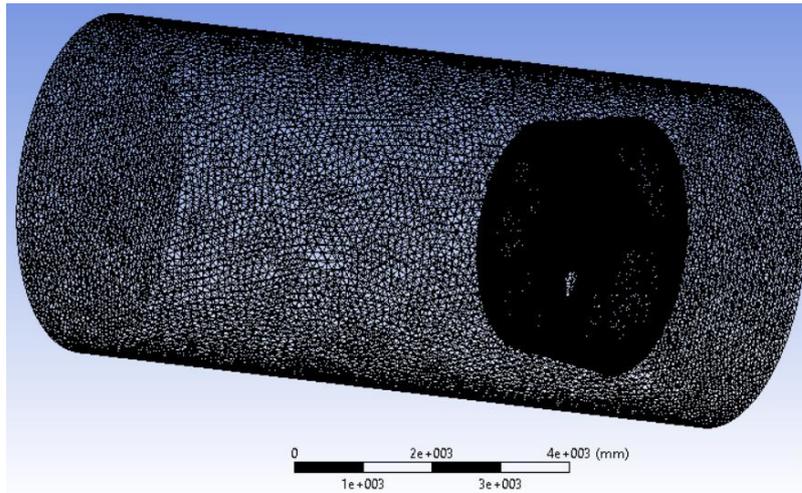


Gambar 5.1 Tampak Samping *Boundary Condition*

5.2.2. Tahapan Mesh

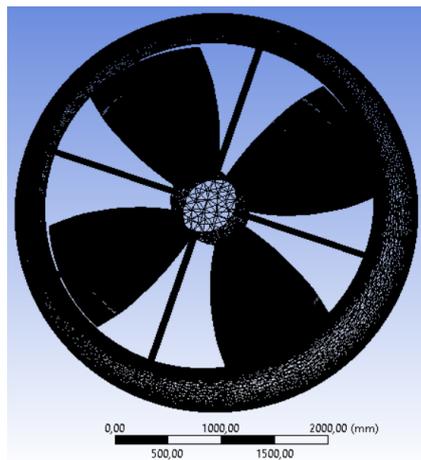
Pada tahapan *meshing* ini, *propulsor* dan *boundary condition* akan terbagi menjadi bagian-bagian kecil yang banyak dengan bentuk dan ukuran sesuai *mesh setting* yang kita atur. Namun, pada Tugas Akhir ini, penulis menggunakan bentuk otomatis dari programnya. Durasi dan keakuratan data tergantung dari jumlah bagian kecil ini. Semakin banyak jumlahnya maka proses *meshing* semakin lama dan data semakin akurat. Sehingga untuk mendapatkan *meshing* yang optimum, maka harus dilakukan beberapa kali percobaan. Hasil yang optimum diperoleh jika selisih *output* antara 2 (dua) percobaan yang berurutan berdasarkan penambahan elemennya dibawah 2% (Anggara, 2013).

Geomteri yang telah dibuat pada subbab sebelumnya, kemudian geomteri dimasukan kedalam *software mesh tools* dengan menggunakan fungsi *file* → *new file*. Setelah itu untuk *meshing*, penulis memilih otomatis dengan program *meshing*. Selanjutnya *generate mesh*, maka geometri akan diproses dan hasilnya bisa dilihat pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 *Boundary Condition Mesh*

Sedangkan pada Gambar 5.3 merupakan *meshing* pada *propulsor* yaitu *multiple rows ducted propeller* dengan sudut *pitch stator* 0° .



Gambar 5.3 *Propulsor Mesh*

5.2.3. *Pre-processor*

Langkah selanjutnya yaitu *pre-processor* dimana pada tahapan ini akan menentukan nilai-nilai variabel yang ada di *boundary condition* seperti besarnya *inlet*, *outlet* dan *wall*. Pada Tugas Akhir ini, *boundary condition* dibagi menjadi 2 domain agar proses simulasi bias berjalan, yaitu domain yang stasioner dan domain yang berputar.

Domain yang stasioner dibagi menjadi 3 bagian yaitu *boundary condition*, *duct* dan *stator*. Dimana material pada *boundary condition* merupakan fluida air dengan model *heat transfer* dan *turbulence* yaitu *isothermal* pada 299° K dan *k-epsilon*. Sedangkan untuk *wall* diatur *free slip wall* dengan maksud air bergerak tanpa hambatan. Selain itu, juga memasukkan

harga batasan pada *boundary condition* misalnya pada *inlet boundary* diatur jenis *mass and momentum* yaitu *normal speed* dengan kecepatan 5,1444 m/s dan *outlet boundary* diatur *normal speed* dengan kecepatan 5,1444 m/s. Hasil dari pengaturan *boundary condition* bias dilihat pada Tabel 5.1 di bawah ini.

Tabel 5.1 *Pre-processor Boundary Condition*

Domain	Boundaries	
Boundary Condition	Boundary - Inlet	
	Type	INLET
	Location	Inlet
	Settings	
	Flow Regime	Subsonic
	Mass And Momentum	Normal Speed
	Normal Speed	5.2114e+00 [m s ⁻¹]
	Turbulence	Medium Intensity and Eddy Viscosity Ratio
	Boundary - Outlet	
	Type	OUTLET
	Location	Outlet
	Settings	
	Flow Regime	Subsonic
	Mass And Momentum	Normal Speed
	Normal Speed	5.2114e+00 [m s ⁻¹]
	Boundary - Shroud	
	Type	WALL
	Location	Shroud
	Settings	
	Mass And Momentum	Free Slip Wall

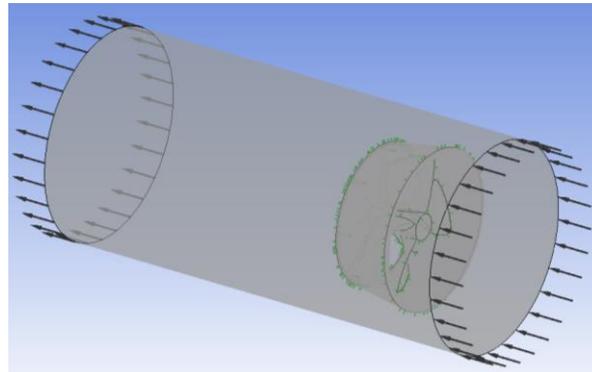
Untuk bagian yang kedua yaitu *duct* dan *stator*. Material pada bagian berupa nikel solid dengan model *heat transfer* berupa *thermal energy*. Dipilih nikel dikarenakan massa jenis nikel mendekati massa jenis kuningan yang merupakan material baku pada pembuatan *duct* dan *propeller*.

Sedangkan, untuk domain yang berputar yaitu *propeller*. Material pada domain ini berupa nikel solid. Mempunyai model *heat transfer* dan *turbulence* yaitu *isothermal* dan *k-epsilon*. Domain diatur berputar dengan *angular velocity* sebesar 2,317 1/s searah sumbu x. Hasil dari pengaturan *duct*, *stator* dan *propeller* bisa dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 *Pre-processors Propulsor*

Domain – Boundary Condition	
<i>Type</i>	<i>Fluid</i>
<i>Location</i>	<i>B155</i>
Materials	
<i>Water</i>	
<i>Fluid Definition</i>	<i>Material Library</i>
<i>Morphology</i>	<i>Continuous Fluid</i>
Settings	
<i>Buoyancy Model</i>	<i>Non Buoyant</i>
<i>Domain Motion</i>	<i>Stationary</i>
<i>Reference Pressure</i>	<i>1.0000e+00 [atm]</i>
<i>Heat Transfer Model</i>	<i>Isothermal</i>
<i>Fluid Temperature</i>	<i>2.9900e+02 [K]</i>
<i>Turbulence Model</i>	<i>k epsilon</i>
<i>Turbulent Wall Functions</i>	<i>Scalable</i>
Domain - Duct	
<i>Type</i>	<i>Solid</i>
<i>Location</i>	<i>Duct</i>
Settings	
<i>Domain Motion</i>	<i>Stationary</i>
Domain - Stator	
<i>Type</i>	<i>Solid</i>
<i>Location</i>	<i>Stator</i>
Settings	
<i>Domain Motion</i>	<i>Stationary</i>
Domain - Propeller	
<i>Type</i>	<i>Solid</i>
<i>Location</i>	<i>Propeller</i>
Settings	
<i>Domain Motion</i>	<i>Rotating</i>
<i>Angular Velocity</i>	<i>2.3167e+00 [rev s⁻¹]</i>
<i>Axis Definition</i>	<i>Coordinate Axis</i>
<i>Rotation Axis</i>	<i>Coord 0.1</i>

Pada Gambar 5.4 di bawah ini merupakan hasil proses *pre-processor* pada *boundary condition* dan *propulsor*. Dimana tanda panah hitam melambangkan arah dari aliran air.

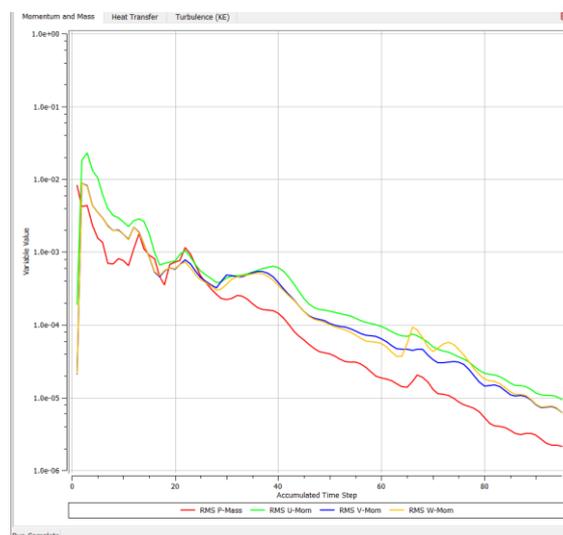


Gambar 5.4 Tahapan *Pre-processors*

5.2.4. *Solver*

Tahapan selanjutnya yaitu *solver* dimana proses ini dilakukan iterasi sampai perhitungan berhenti sendiri baik telah mencapai batas iterasi maksimum atau telah mencapai nilai yang konvergen. *Solver* gagal jika ketika proses iterasi mencapai batas maksimum dan berhasil apabila proses iterasi mencapai batasan nilai yang konvergen.

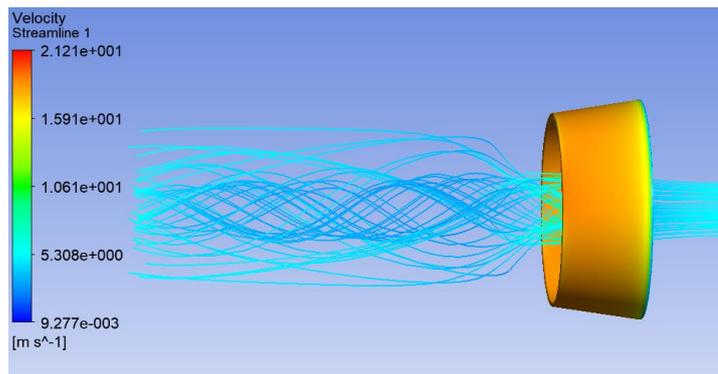
Pada proses *running* ini digambarkan dengan sebuah grafik, dengan sumbu x menunjukkan *accumulated time step* atau dalam simulasi ini merupakan iterasi dan sumbu y merupakan *variable value*. Semakin kecil nilai *variable value* maka proses akan semakin lama dan data semakin akurat. Berdasarkan penelitian sebelumnya, simulasi dikatakan konvergen apabila mencapai batas *value* sebesar 10^{-5} (Anggara, 2013). Hasil dari *solver* pada iterasi ini bisa dilihat pada Gambar 5.5 dimana proses *solver* berhenti ketika *value* menyentuh angka 10^{-5} pada *accumulated time step* ke-98.



Gambar 5.5 Grafik pada Tahapan *Solver*

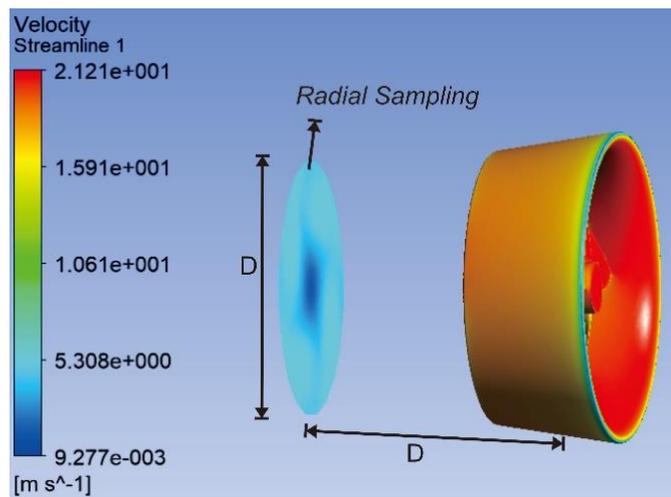
5.2.5. Post Processor

Setelah melalui proses iterasi pada tahapan *solver*, diperoleh variabel yang diperlukan untuk analisis data pada tahapan *post-processor*. Parameter variabel yang digunakan pada Tugas Akhir ini yaitu pola aliran air, kecepatan air, *thrust*, dan *torque*. Untuk pembuatan pola aliran air menggunakan fungsi *streamline* yang terdapat pada *toolbar*, dengan mengatur arah aliran berasal dari *inlet* sebanyak 100 buah. Hasil dari fungsi *streamline* bisa dilihat pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Pola Aliran Air pada *Ducted Propeller*

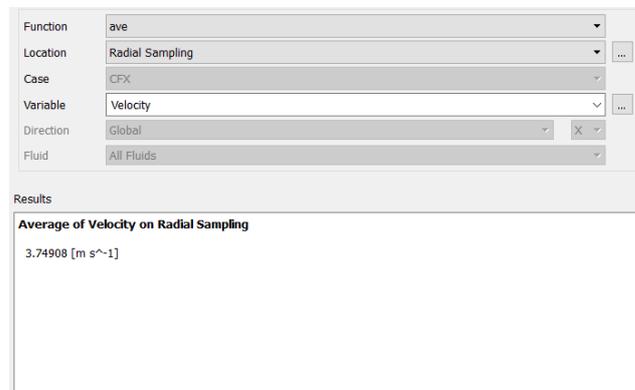
Untuk mengetahui kecepatan aliran air atau *velocity of advance*, yaitu dengan cara membuat *radial sampling plane*. *Radial sampling* ini mempunyai diameter sama dengan diameter *propeller* dan di tempatkan di belakang *propulsor* dengan jarak sebesar diameter *propeller* dan hasilnya bisa dilihat pada Gambar 5.7 di bawah ini.



Gambar 5.7 *Radial Sampling*

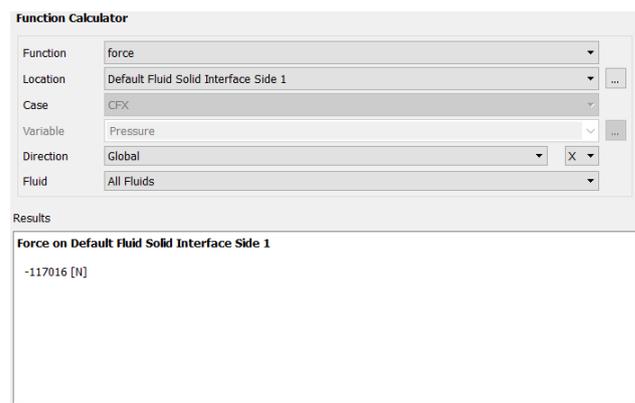
Selanjutnya besarnya nilai *velocity of advance* pada *radial sampling plane* diperoleh dengan menggunakan *function calculator* yang berupa *ave* untuk variabel *velocity* seperti yang

tertera pada pada Gambar 5.8 di bawah ini. Sehingga besarnya kecepatan aliran air yang melewati *propulsor* bisa diperoleh.



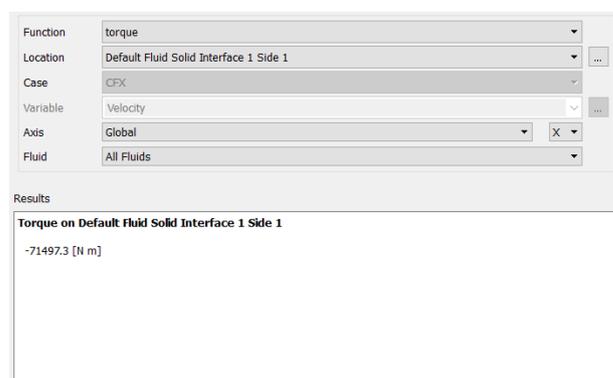
Gambar 5.8 Kecepatan Aliran Air pada *Radial Sampling*

Begitupula untuk pengambilan data nilai *thrust* dan *torque* yakni menggunakan *function calculator* yang terdapat pada *toolbar*. Fungsi *force* digunakan sebagai variabel *thrust* dan hasilnya bisa dilihat pada Gambar 5.9 di bawah ini.



Gambar 5.9 *Thrust* pada *Ducted Propeller*

Sedangkan nilai *torque* menggunakan fungsi *torqu* edan hasilnya bisa dilihat pada Gambar 5.10 di bawah ini.



Gambar 5.10 *Torque* pada *Ducted Propeller*

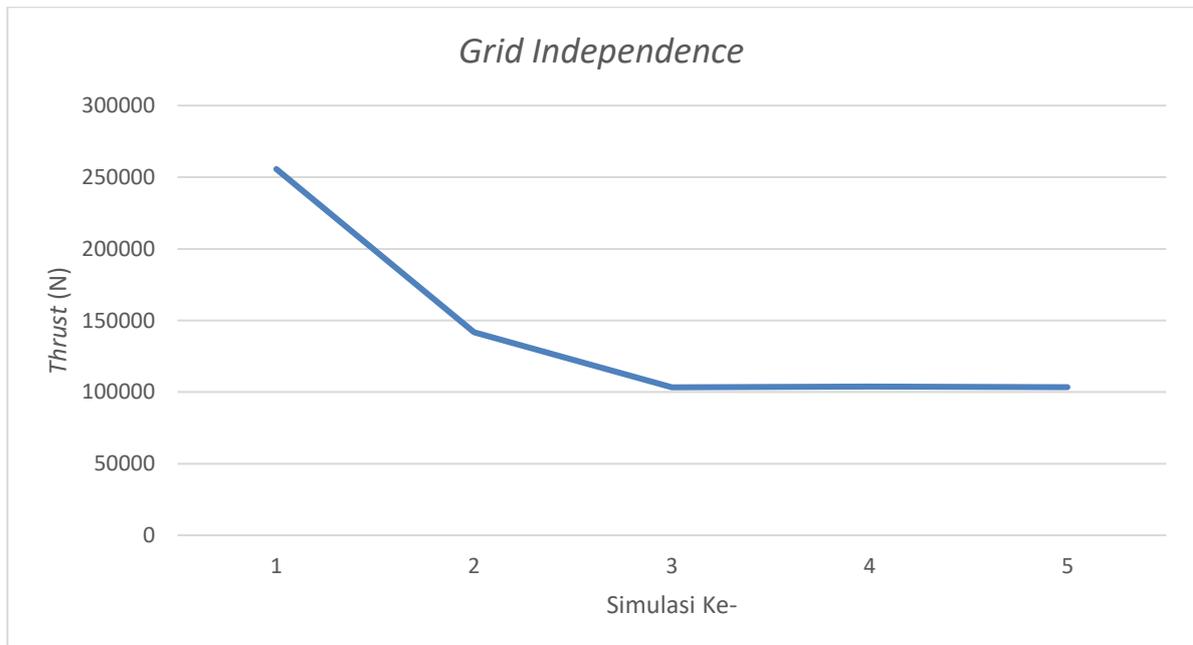
5.3. Grid Independence

Simulasi perlu dilakukan beberapa kali untuk mencari selisih *output* antara 2 (dua) percobaan yang berurutan berdasarkan pertambahan elemennya di bawah 2%. Dalam Tugas Akhir ini, simulasi dilakukan sebanyak 5 kali untuk menemukan nilai pertambahannya di bawah 2% dengan *output* yang dipakai berupa nilai *thrust*. Hal ini dilakukan dengan mengatur jumlah elemen ketika pengaturan dalam tahapan *meshing*. Dan hasil dari 5 kali simulasi dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 *Grid Independence*

No.	Elemen	Thrust (N)	Delta	%
1	357349,8	255682		
2	198098,5	141739,9	113942,1	0,8039
3	144376,1	103301,6	38438,3	0,3721
4	145116,2	103828,4	-526,8	-0,0051
5	144566,9	103433,8	394,6	0,0038

Kemudian berdasarkan Tabel 5.3 selisih antara 2 percobaan yang berurutan dimana selisih nilai *thrust* di bawah 2% terjadi pada Percobaan ke 5 dengan jumlah elemennya sebanyak 3.704.934 elemen. Hasilnya bisa dilihat pada kurva *grid independence* yang tertera pada Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Kurva *Grid Independence*

5.4. Validasi Data

Validasi data dilakukan untuk mengetahui keakuratan hasil simulasi terhadap hasil eksperimen. Proses ini penyesuaian parameter antara model dengan benda aslinya. Namun, parameter dalam Tugas Akhir ini yaitu nilai *thrust* dan *torque* antara hasil simulasi dengan hasil perhitungan manual. Simulasi dikatakan valid apabila seilsih dari cara perolehan parameter tersebut dibawah 5%. Untuk proses validasi data pada Tugas Akhir ini bisa dilihat pada Tabel 5.4 dimana data yang dibandingkan yaitu *thrust* dan *torque ducted propeller* hasil simulasi dengan hasil perhitungan pada kondisi *uniform flow*.

Tabel 5.4 Hasil Validasi Data a) *thrust* b) *torque*

Rotasi <i>Propeller</i> (rpm)	Hasil Perhitungan <i>Thrust</i> (N)	Hasil simulasi CFD (N)	Delta	%
139,00	144566,85	150782,17	6215,32	4,30

Rotasi <i>Propeller</i> (rpm)	Hasil Perhitungan <i>Torque</i> (N)	Hasil simulasi CFD (Nm)	Delta	%
139,00	85291,88	81112,88	4179,00	4,90

BAB 6

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

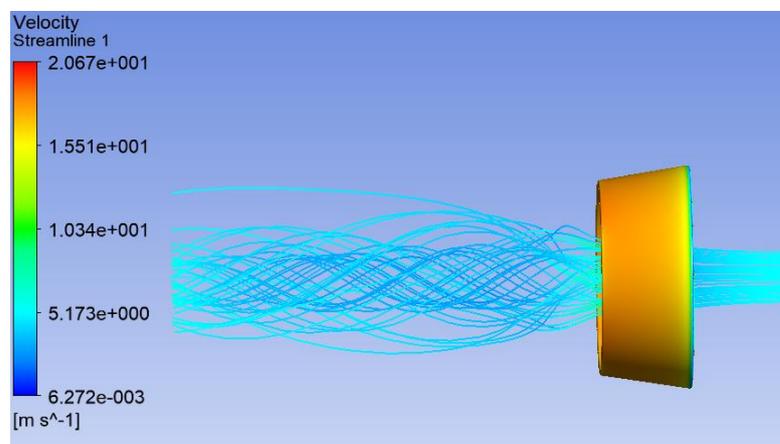
6.1. Pendahuluan

Setelah dilakukan simulasi CFD dengan *software CFD tools* pada BAB 5, tahapan selanjutnya yaitu melakukan analisa data. Dari hasil simulasi yang diperoleh, maka akan dilakukan studi komparatif terhadap masing-masing bentuk *propulsor*. Dalam BAB 6 yang pertama akan ditinjau pola alirannya dengan menganalisis penampang visual aliran dan *radial sampling velocity of advance* pada masing-masing *propulsor*. Yang kedua akan ditinjau dari nilai *thrust* dan *torque* pada masing-masing *propulsor* yang didapatkan menggunakan *function calculator* pada *software CFD tools*. Dan yang ketiga yaitu akan ditinjau nilai efisiensi sistem propulsi pada masing-masing *propulsor* yang didapatkan dari perhitungan secara manual.

6.2. Ducted Propeller

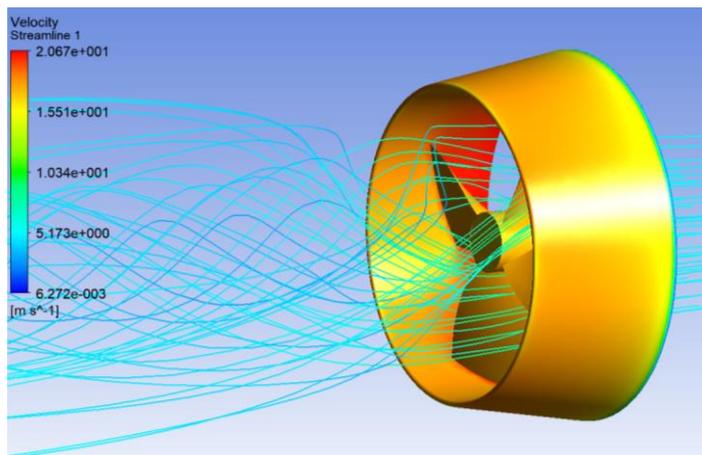
6.2.1. Pola Aliran Air

Telah didapatkan hasil simulasi CFD dari BAB 5, pada sub bab ini akan dibahas mengenai aliran air yang terjadi di belakang *propulsor* pada *ducted propeller*. Pola aliran air diperoleh dengan menggunakan bantuan fungsi *streamline* pada *software CFD tools*. Di dalam fungsi tersebut dapat diatur jumlah garis yang melambangkan aliran air yang melewati *propulsor* dan juga dapat diatur darimana arah pergerakan dari aliran air tersebut. Hasil dari pengaturan fungsi *streamline* bisa dilihat pada Gambar 6.1.



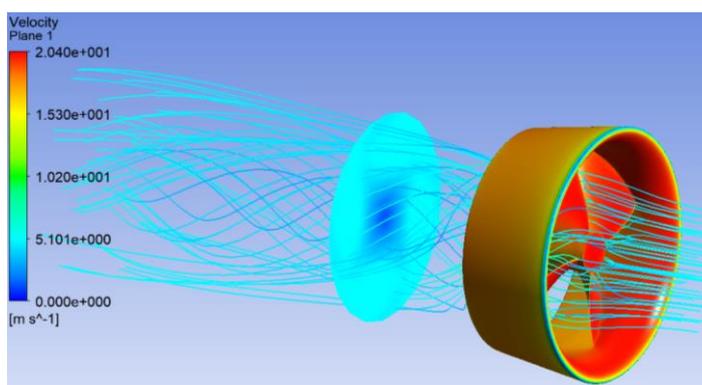
Gambar 6.1 Tampak Samping Aliran Air *Ducted Propeller*

Berdasarkan gambar di atas, terlihat bahwa pola aliran air pada *ducted propeller* merupakan pola melingkar atau yang bisa disebut *tangential velocity*. Hal ini bisa terjadi karena aliran air yang melalui *propulsor* langsung keluar meninggalkan *propulsor* sesuai bentuk uliran *pitch* yang ada pada *propeller*. Sehingga, aliran air mengalir bebas tanpa adanya konversi bentuk aliran bagian dari *propulsor* yang. Hal ini bisa dilihat pada Gambar 6.2, dimana pada gambar tersebut air mengalir sesuai dengan pola desain *propeller*.



Gambar 6.2 Tampak Belakang Aliran Air *Ducted Propeller*

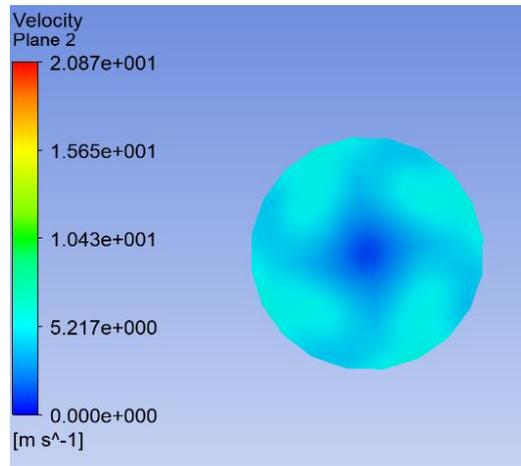
Kemudian dilakukan *radial sampling* untuk menentukan nilai *velocity of advance* yang terjadi pada *propulsor ini*. *Radial sampling* dilakukan dengan penempatan sebuah *plane* berbentuk lingkaran dengan jari-jari sebesar jari-jari *propeller* pada jarak sepanjang diameter *propeller*. Hasil dari pengaturan *radial sampling* bisa dilihat pada Gambar 6.4 di bawah ini.



Gambar 6.3 Tampak Depan Aliran Air *Ducted Propeller*

Pengambilan data dengan menggunakan *function calculator* yang berupa rata-rata kecepatan pada *plane* tersebut dan hasilnya didapatkan nilai *velocity of advance* sebesar

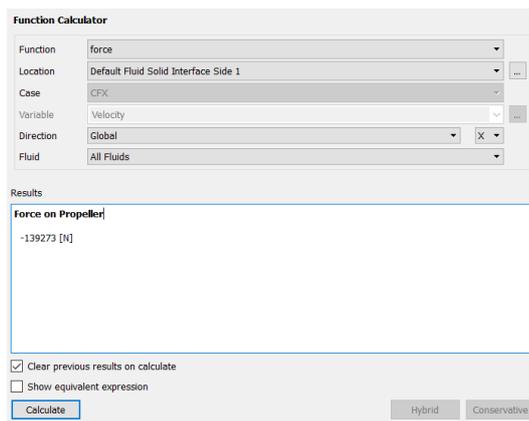
3,96059 m/s. Berikut pada Gambar 6.4 merupakan penampang dari *radial sampling* pada *ducted propeller*.



Gambar 6.4 Tampak Depan *Radial Sampling* pada *Ducted Propeller*

6.2.2. Thrust dan Torque

Thrust dan *torque* didapatkan dengan bantuan *function calculator* seperti yang telah dijelaskan pada BAB 5. Dimana untuk mendapatkan *thrust* dengan menggunakan fungsi *force* sedangkan untuk *torque* dengan menggunakan fungsi *torque*. Pada *ducted propeller*, *thrust* dan *torque* terbagi menjadi 2 bagian yaitu *propeller* dan *duct*. Sehingga nilai *thrust* dan *torque* merupakan komulasi dari ke 2 bagian tersebut. Pada Gambar 6.5 merupakan contoh dari *function calculator* dari *thrust propeller*.



Gambar 6.5 *Thrust* pada *Propeller*

Kemudian dilakukan komulasi pada nilai *thrust* dan *torque* untuk 2 bagian *propulsor* pada *ducted propeller*. Dan hasilnya bisa dilihat pada Tabel 6.1 di bawah ini.

Tabel 6.1 *Thrust* dan *Torque* pada *Ducted Propeller*

<i>Propulsor</i>	<i>Thrust</i> (N)	<i>Torque</i> (Nm)
<i>Ducted Propeller</i>	150782,2	81112,9

6.2.3. Efisiensi *Propulsor*

Pada Tugas Akhir ini untuk melakukan perhitungan efisiensi sistem propulsi, maka harus diketahui nilai *thrust* dan *torque* terlebih dahulu. Nilai tersebut didapatkan dengan menggunakan *function calculator* yang telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya. Kemudian dengan menggunakan menggunakan Persamaan (2.9), maka nilai efisiensi *propeller* bisa diperoleh. Persamaan tersebut sebagai berikut :

$$\eta_P = \frac{J K_T}{2 \pi K_Q} \quad (6.1)$$

Dimana nilai J didapatkan berdasarkan masing-masing nilai V_a . Nilai K_T ditentukan dengan menggunakan Persamaan (2.11), persamaan tersebut sebagai berikut :

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^2} \quad (6.2)$$

Semua variabel yang dibutuhkan pada Persamaan (6.2) telah diketahui dimana nilai *thrust* didapatkan dari hasil simulasi sedangkan nilai ρ (massa jenis air), n (putaran *propeller*) dan D (diameter *propeller*) didapatkan dari dari Tabel 4.6 dimana nilainya sebagai berikut :

$$\rho = 1025 \text{ kg/m}^3 \quad (6.3)$$

$$D = 3,120 \text{ m} \quad (6.4)$$

$$n = 2,3167 \text{ 1/s} \quad (6.5)$$

Dengan mensubstitusikan 3 nilai tersebut di atas ke dalam Persamaan (6.2), maka nilai K_T diperoleh. Sedangkan untuk nilai K_Q ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5} \quad (6.6)$$

Dimana semua variabel yang dibutuhkan pada Persamaan (6.6) telah diketahui dengan nilai *torque* didapatkan dari hasil simulasi sedangkan nilai ρ (massa jenis air), n (putaran *propeller*) dan D (diameter *propeller*) didapatkan dari Persamaan (6.3), Persamaan (6.4) dan Persamaan (6.5). Nilai J didapatkan dengan mengacu pada Persamaan (2.13) dimana nilai V_a berdasarkan hasil simulasi pada masing-masing *propulsor*, nilai D sesuai Persamaan (6.4) dan nilai n berdasarkan Persamaan (6.5). Sehingga nilai J pada *propulsor* dapat ditemukan.

$$J = \frac{V_a}{n D} \quad (6.7)$$

Nilai J, K_T dan K_Q sudah diperoleh dan hasilnya bias dilihat pada Tabel 6.2 di bawah ini, maka nilai efisiensi *propulsor* pada *ducted propeller* dapat ditemukan. Perhitungan efisiensi *propulsor* dengan menggunakan Persamaan (6.1) yang telah disebutkan di atas dan dengan

mensubstitusikan variabel-variabel yang telah diperoleh sebelumnya maka nilai efisiensi *propulsor* sebagai berikut hasilnya.

Tabel 6.2 Perhitungan Efisiensi *Propulsor Ducted Propeller*

<i>Propulsor</i>	Thrust (N)	Torque (Nm)	Va	J	K _T	K _Q	η _P
<i>Ducted Propeller</i>	150782,2	81112,9	3,961	0,5479	0,2892	0,0499	0,5058

6.2.4. Efisiensi Sistem Propulsi

Setelah diperoleh nilai efisiensi *propulsor* pada sub bab sebelumnya, maka nilai efisiensi system propulsi dapat ditentukan. Perhitungan efisiensi system propulsi mengacu pada Persamaan (2.6), dimana persamaan tersebut sebagai berikut :

$$\eta_D = \eta_H \cdot \eta_R \cdot \eta_P \quad (6.7)$$

Dimana η_H merupakan *Hull efficiency*, η_R merupakan *Relative-rotative Efficiency* dan η_P merupakan *Propeller efficiency*

Nilai η_H diperoleh dengan menggunakan Persamaan (2.7) dengan masing-masing nilai t sebesar 0,02 dan w sebesar -0,013. Sehingga nilai η_H diperoleh sebesar :

$$\eta_H = 0,97 \quad (6.8)$$

Untuk nilai η_R diperoleh dengan menggunakan Persamaan (2.8) yaitu sebesar :

$$\eta_R = 0,98 \quad (6.9)$$

Untuk nilai η_P diperoleh dari Tabel 6.2 dan Dengan memasukkan 3 variabel yang tersebut di atas ke dalam Persamaan (6.7), maka nilai efisiensi sistem propulsi dapat diperoleh. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 6.3 di bawah ini.

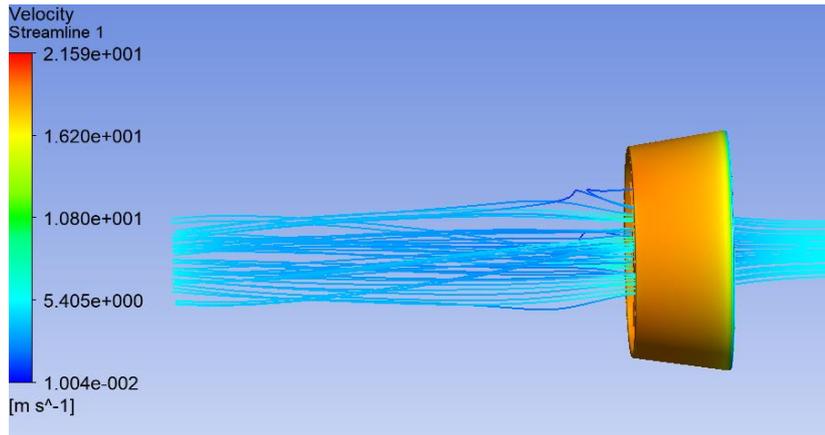
Tabel 6.3 Efisiensi Sistem Propulsi

<i>Propulsor</i>	Thrust (kN)	Torque (Nm)	η _P	η _D
<i>Ducted Propeller</i>	150782,2	81112,9	0,5058	0,4795

6.3. *Multiple Rows Ducted Propeller (MRDP) dengan sudut pitch stator 0°*

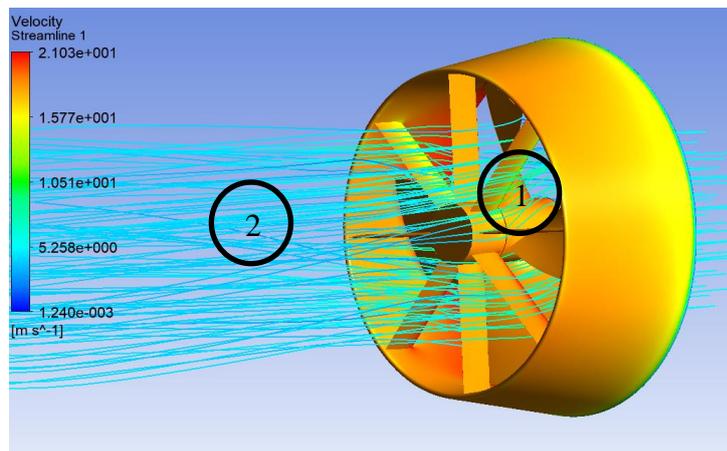
6.3.1. Pola Aliran Air

Pada sub bab ini akan dibahas mengenai aliran air yang terjadi di belakang *propulsor*. pada MRDP dengan sudut *pitch stator* 0°. Pola aliran air diperoleh dengan menggunakan bantuan fungsi *streamline* pada *software CFD tools*. Di dalam fungsi tersebut dapat diatur jumlah garis yang dimana melambangkan aliran air yang melewati *propulsor* dan juga dapat diatur arah pergerakan dari aliran air tersebut. Hasil dari pengaturan fungsi *streamline* bisa dilihat pada Gambar 6.6 di bawah ini.



Gambar 6.6 Tampak Samping Aliran Air MRDP dengan sudut *pitch stator* 0°

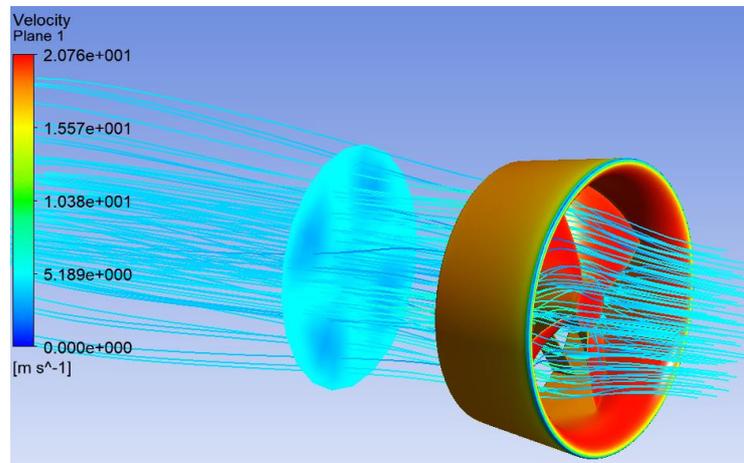
Berdasarkan Gambar 6.6 di atas, terlihat bahwa pola aliran air pada MRDP dengan sudut *pitch stator* 0° merupakan pola garis lurus. Hal ini bisa terjadi karena aliran air yang melalui *propulsor* berputar terlebih dahulu ketika memasuki *propeller*. Putaran ini menghasilkan *tangential velocity*, namun dikarenakan adanya *stator* pada ujung belakang *duct*. Maka *tangential velocity* tersebut akan *cancel out* dan terkonversi menjadi aliran air yang sesuai dengan uliran *pitch* pada *stator*. Dikarenakan pada bentuk *propulsor* yang sudut *pitch stator* yang diterapkan adalah 0°, maka aliran air yang keluar setelah meninggalkan *stator* akan berwujud pola garis lurus. Hal ini bisa dilihat pada Gambar 6.7 di bawah ini, dimana pada gambar tersebut air mengalir sesuai dengan pola desain *propeller*.



Gambar 6.7 Tampak Belakang Aliran Air MRDP dengan sudut *pitch stator* 0°

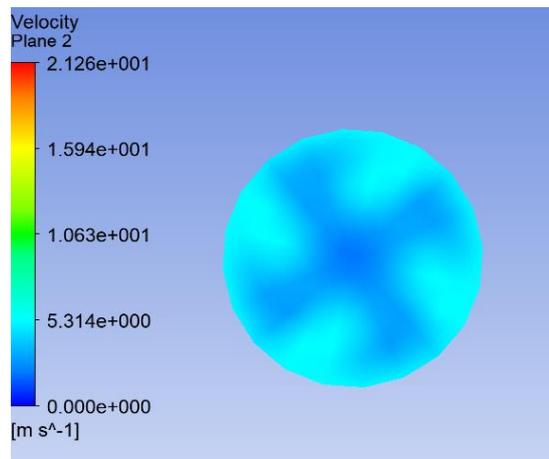
Tampak Lingkaran 1 pada Gambar 6.7 merupakan *tangential velocity* (aliran yang melingkar) sedangkan pada Lingkaran 2 merupakan aliran yang lurus. Setelah itu dilakukan *radial sampling* untuk menentukan nilai *velocity of advance* yang terjadi pada *propulsor* ini. *Radial sampling* dilakukan dengan penempatan sebuah *plane* berbentuk lingkaran dengan jari-

jari sebesar jari-jari *propeller* pada jarak sepanjang diameter *propeller* dan hasilnya bisa dilihat pada Gambar 6.8 di bawah ini.



Gambar 6.8 Tampak Depan Aliran Air MRDP dengan sudut *pitch stator* 0°

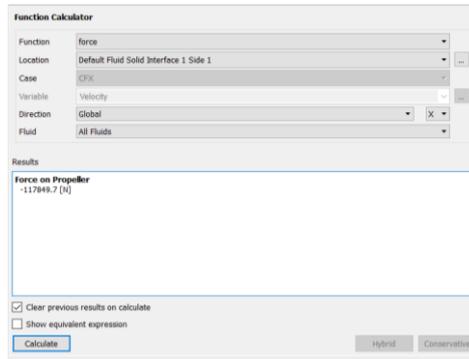
Kemudian data diambil dengan *function calculator* berupa rata-rata kecepatan pada *plane* tersebut dengan nilai *velocity of advance* sebesar 4,09113 m/s. Berikut pada Gambar 6.9 merupakan penampang dari *radial sampling* pada *ducted propeller*.



Gambar 6.9 Tampak Depan *Radial Sampling* pada MRDP dengan sudut *pitch stator* 0°

6.3.2. Thrust dan Torque

Thrust dan *torque* didapatkan dengan bantuan *function calculator* seperti yang telah dijelaskan pada BAB 5. Dimana untuk mendapatkan *thrust* dengan menggunakan fungsi *force* sedangkan untuk mendapatkan *torque* dengan menggunakan fungsi *torque*. Dalam Tugas Akhir ini, *thrust* dan *torque* terbagi menjadi 3 bagian yaitu *propeller*, *stator* dengan sudut *pitch* 0° dan *duct*. Sehingga nilai *thrust* dan *torque* merupakan hasil komulasi dari ke 3 bagian tersebut. Pada Gambar 6.10 merupakan contoh dari *function calculator* dari *thrust propeller*.



Gambar 6.10 *Thrust* pada *Propeller*

Kemudian dilakukan komulasi pada nilai *thrust* dan *torque* untuk 3 bagian *propulsor* pada *MRDP* dengan sudut *pitch stator* 0° . Dan hasilnya bisa dilihat pada Tabel 6.4.

Tabel 6.4 *Thrust* dan *Torque* pada *MRDP* dengan sudut *pitch stator* 0°

<i>Propulsor</i>	<i>Thrust</i> (N)	<i>Torque</i> (Nm)
<i>MRDP</i> ($s-0^\circ$)	162939,8	85017,9

6.3.3. Efisiensi *Propulsor*

Nilai J , K_T dan K_Q sudah diperoleh sesuai perhitungan yang telah dilakukan pada sub bab sebelumnya, maka nilai efisiensi *propulsor* dari *MRDP* dengan sudut *pitch stator* 0° dapat ditemukan. Perhitungan efisiensi *propulsor* dengan menggunakan Persamaan (6.1) yang telah disebutkan di atas dan dengan mensubstitusikan variabel-variabel yang telah diperoleh pada sub bab sebelumnya maka nilai efisiensi *propulsor* *MRDP* dengan sudut *pitch stator* 0° bisa dilihat pada Tabel 6.5 di bawah ini.

Tabel 6.5 Perhitungan Efisiensi *Propulsor* *MRDP* dengan sudut *pitch stator* 0°

<i>Propulsor</i>	<i>Thrust</i> (N)	<i>Torque</i> (Nm)	V_a	J	K_T	K_Q	η_P
<i>MRDP</i> ($s-0^\circ$)	162939,8	85017,9	4,091	0,5660	0,3125	0,0523	0,5387

6.3.4. Efisiensi Sistem Propulsi

Setelah diperoleh nilai efisiensi *propulsor* pada sub bab sebelumnya, maka nilai efisiensi sistem propulsi bisa dihitung. Perhitungan efisiensi sistem propulsi mengacu pada Persamaan (2.6) yang telah disebutkan di atas dan dengan mensubstitusikan variabel-variabel yang telah diperoleh pada sub bab sebelumnya. Dan hasil dari perhitungan nilai efisiensi sistem propulsi dari *MRDP* dengan sudut *pitch stator* 0° bisa dilihat pada Tabel 6.6 di bawah ini.

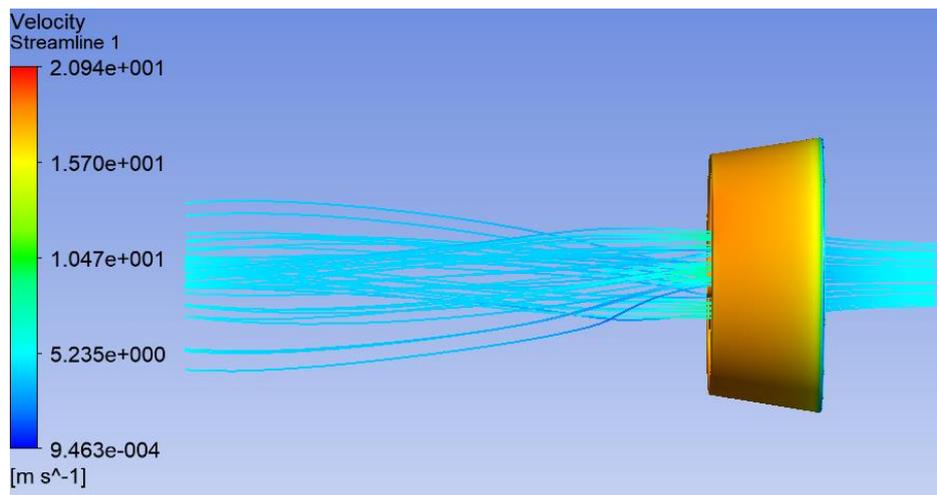
Tabel 6.6 Efisiensi Sistem Propulsi MRDP dengan sudut *pitch stator* 0°

<i>Propulsor</i>	<i>Thrust</i> (kN)	<i>Torque</i> (Nm)	η_P	η_D
MRDP (<i>s</i> -0°)	162939,8	85017,9	0,5387	0.5107

6.4. Multiple Rows Ducted Propeller (MRDP) dengan sudut *pitch stator* 3°

6.4.1. Pola Aliran Air

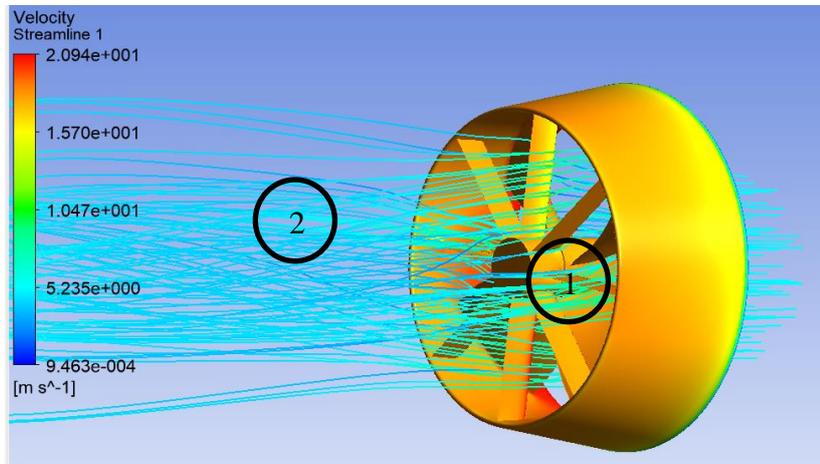
Pada sub bab ini akan dibahas mengenai aliran air yang terjadi di belakang *propulsor*. Pada MRDP dengan sudut *pitch stator* 3°. Pola aliran air diperoleh dengan menggunakan bantuan fungsi *streamline* pada *software CFD tools*. Di dalam fungsi tersebut dapat diatur jumlah garis yang dimana melambangkan aliran air yang melewati *propulsor* dan juga dapat diatur arah pergerakan dari aliran air tersebut. Hasil dari pengaturan fungsi *streamline* bisa dilihat pada Gambar 6.11.



Gambar 6.11 Tampak Samping Aliran Air MRDP dengan sudut *pitch stator* 3°

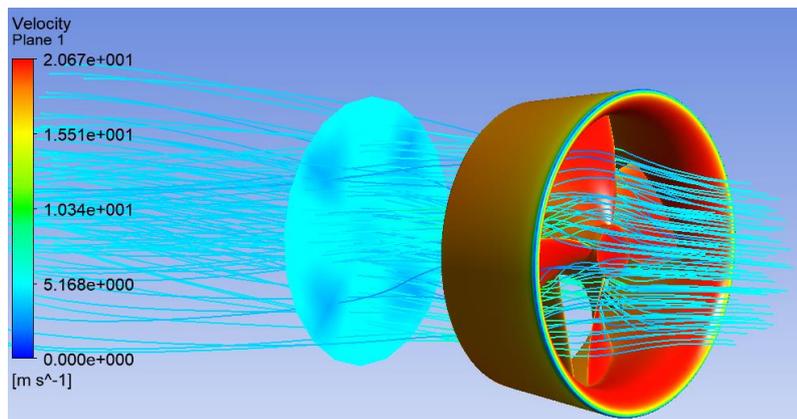
Berdasarkan gambar di atas, terlihat bahwa pola aliran air pada MRDP dengan sudut *pitch stator* 3° merupakan pola garis lurus dan semi *tangential velocity*. Bisa dikatakan semi dikarenakan pola *tangential velocity* pada MRDP tersebut di atas tidak terlalu menonjol dikarenakan sudut *pitch stator* yang kecil yaitu 3°. Aliran air yang terjadi masuk melalui *propulsor* berputar terlebih dahulu ketika memasuki *propeller*. Putaran ini menghasilkan *tangential velocity*, namun dikarenakan adanya *stator* dengan sudut *pitch* 3° pada ujung belakang *duct*. Maka *tangential velocity* tersebut akan ter-*cancel out* dan terkonversi menjadi aliran air yang sesuai dengan uliran *pitch* pada *stator*. Dikarenakan pada bentuk *propulsor* ini sudut *pitch stator* yang diterapkan adalah 3°, maka aliran air yang keluar setelah meninggalkan *stator* akan berwujud campuran dari pola garis lurus dan semi *tangential velocity*. Hal ini bisa

dilihat pada Gambar 6.12, dimana pada gambar tersebut air mengalir sesuai dengan pola desain *propeller*.



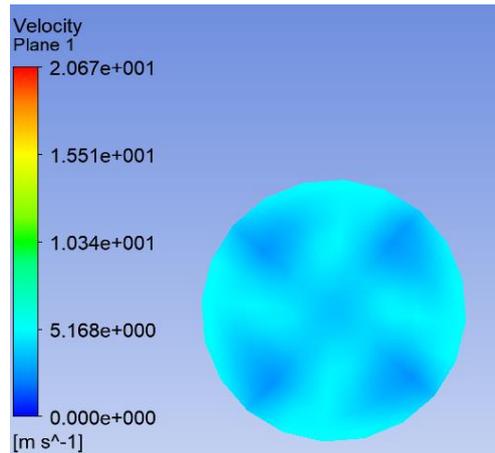
Gambar 6.12 Tampak Belakang Aliran Air MRDP dengan sudut *pitch stator* 3°

Tampak Lingkaran 1 pada Gambar 6.12 merupakan *tangential velocity* (aliran yang melingkar) sedangkan pada Lingkaran 2 merupakan aliran lurus dan semi *tangential velocity*. Kemudian dilakukan *radial sampling* untuk menentukan nilai *velocity of advance* yang terjadi pada *propulsor ini*. *Radial sampling* dilakukan dengan penempatan sebuah *plane* berbentuk lingkaran dengan jari-jari sebesar jari-jari *propeller* pada jarak sepanjang diameter *propeller* dan hasilnya bisa dilihat pada Gambar 6.13.



Gambar 6.13 Tampak Depan Aliran Air MRDP dengan sudut *pitch stator* 3°

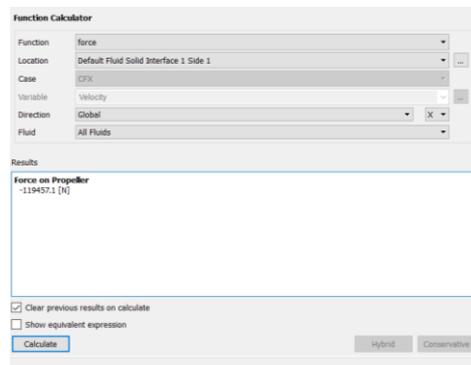
Kemudian data diambil dengan *function calculator* yang berupa rata-rata kecepatan pada *plane* tersebut dan hasilnya *plane* mempunyai nilai *velocity of advance* sebesar 4,12415 m/s. Berikut pada Gambar 6.14 merupakan tampak depan dari *radial sampling* pada *ducted propeller*.



Gambar 6.14 Tampak Depan *Radial Sampling* pada *MRDP* dengan sudut *pitch stator* 3°

6.4.2. Thrust dan Torque

Thrust dan *torque* didapatkan dengan bantuan *function calculator* seperti yang telah dijelaskan pada BAB 5. Dimana untuk mendapatkan nilai *thrust* dengan menggunakan fungsi *force* sedangkan untuk mendapatkan nilai *torque* dengan menggunakan fungsi *torque*. Dalam Tugas Akhir ini, *thrust* dan *torque* terbagi menjadi 3 bagian yaitu *propeller*, *stator* dengan sudut *pitch* 3° dan *duct*. Sehingga nilai *thrust* dan *torque* merupakan hasil komulasi dari ke 3 bagian tersebut. Pada Gambar 6.15 merupakan contoh dari *function calculator* dari *thrust propeller*.



Gambar 6.15 *Thrust* pada *Propeller*

Kemudian dilakukan komulasi pada nilai *thrust* dan *torque* untuk 3 bagian *propulsor* pada *MRDP* dengan sudut *pitch stator* 3° dan hasilnya bisa dilihat pada Tabel 6.7 di bawah ini.

Tabel 6.7 *Thrust* dan *Torque* pada *MRDP* dengan sudut *pitch stator* 3°

<i>Propulsor</i>	<i>Thrust</i> (N)	<i>Torque</i> (Nm)
<i>MRDP</i> (<i>s</i> - 3°)	163549,7	85895,8

6.4.3. Efisiensi *Propulsor*

Nilai J , K_T dan K_Q sudah diperoleh sesuai perhitungan yang telah dilakukan pada sub bab sebelumnya, maka nilai efisiensi *propulsor* dari *MRDP* dengan sudut *pitch stator* 3° dapat ditemukan. Perhitungan efisiensi *propulsor* dengan menggunakan Persamaan (6.1) yang telah disebutkan di atas dan dengan mensubstitusikan variabel-variabel yang telah diperoleh pada sub bab sebelumnya maka nilai efisiensi *propulsor MRDP* dengan sudut *pitch stator* 3° bisa dilihat pada Tabel 6.8 di bawah ini.

Tabel 6.8 Perhitungan Efisiensi *Propulsor MRDP* dengan sudut *pitch stator* 3°

<i>Propulsor</i>	<i>Thrust</i> (N)	<i>Torque</i> (Nm)	Va	J	K_T	K_Q	η_P
<i>MRDP (s-3°)</i>	163549,7	85895,8	4,121	0,5702	0,3137	0,0528	0,5391

6.4.4. Efisiensi Sistem Propulsi

Setelah diperoleh nilai efisiensi *propulsor* pada sub bab sebelumnya, maka nilai efisiensi sistem propulsi bisa dihitung. Perhitungan efisiensi sistem propulsi mengacu pada Persamaan (2.6) yang telah disebutkan di atas dan dengan mensubstitusikan variabel-variabel yang telah diperoleh pada sub bab sebelumnya. Dan hasil dari perhitungan nilai efisiensi sistem propulsi dari *MRDP* dengan sudut *pitch stator* 3° bisa dilihat pada Tabel 6.9 di bawah ini.

Tabel 6.9 Efisiensi Sistem Propulsi *MRDP* dengan sudut *pitch stator* 3°

<i>Propulsor</i>	<i>Thrust</i> (kN)	<i>Torque</i> (Nm)	η_P	η_D
<i>MRDP (s-3°)</i>	163549,7	85895,8	0,5391	0,5111

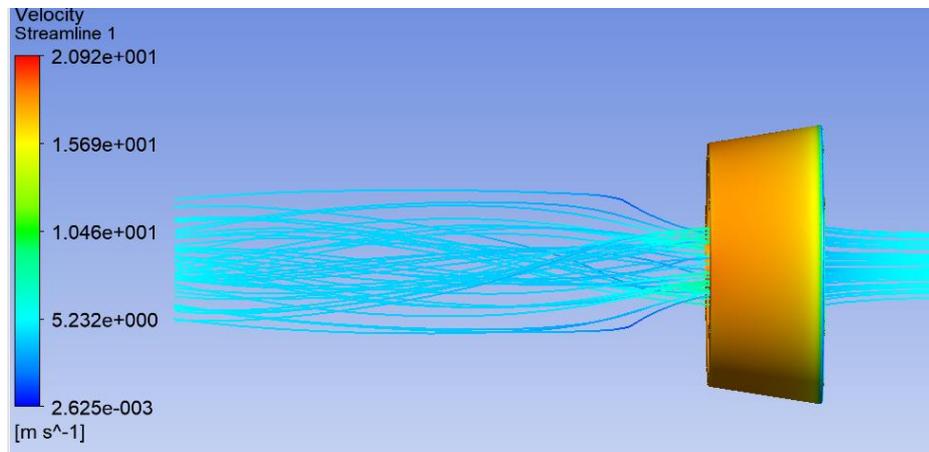
6.5. *Multiple Rows Ducted Propeller (MRDP)* dengan sudut *pitch stator* 6°

6.5.1. Pola Aliran Air

Pada sub bab ini akan dibahas mengenai aliran air yang terjadi di belakang *propulsor*. Pada *MRDP* dengan sudut *pitch stator* 6° . Pola aliran air diperoleh dengan menggunakan bantuan fungsi *streamline* pada *software CFD tools*. Di dalam fungsi tersebut dapat diatur jumlah garis yang dimana melambangkan aliran air yang melewati *propulsor* dan juga dapat diatur arah pergerakan dari aliran air tersebut. Hasil dari pengaturan fungsi *streamline* bisa dilihat pada Gambar 6.16.

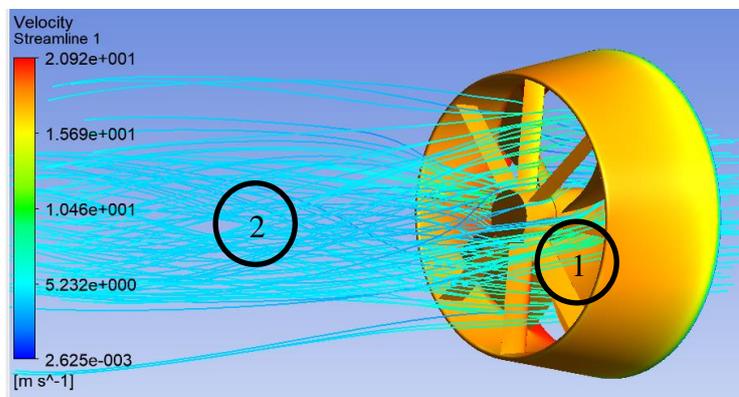
Berdasarkan Gambar 6.16. di bawah ini, terlihat bahwa pola aliran air pada *MRDP* dengan sudut *pitch stator* 6° merupakan semi *tangential velocity*. Hal ini terjadi karena aliran air yang masuk melalui *propulsor* berputar terlebih dahulu ketika memasuki *propeller*. Putaran

ini menghasilkan *tangential velocity*, kemudian dikarenakan adanya *stator* pada ujung belakang *duct*. Maka *tangential velocity* tersebut akan ter-*cancel out* dan terkonversi menjadi aliran air yang sesuai dengan uliran *pitch* pada *stator*.



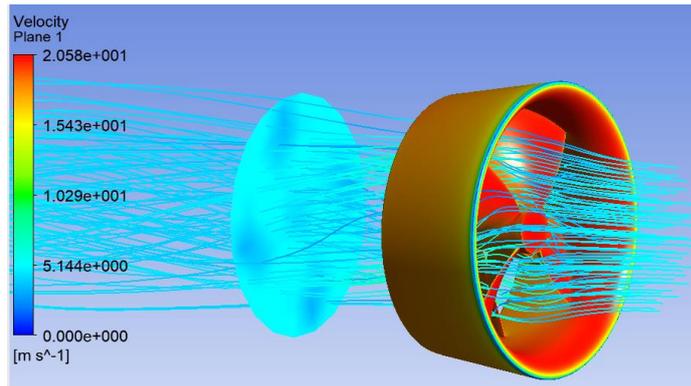
Gambar 6.16 Tampak Samping Aliran Air MRDP dengan sudut *pitch stator* 6°

Dikarenakan pada bentuk *propulsor* ini sudut *pitch stator* yang diterapkan adalah 6°, maka aliran air yang keluar setelah meninggalkan *stator* akan berwujud semi *tangential velocity* kembali. Hal ini bisa dilihat pada Gambar 6.17, dimana pada gambar tersebut air mengalir sesuai dengan pola desain *propeller*.



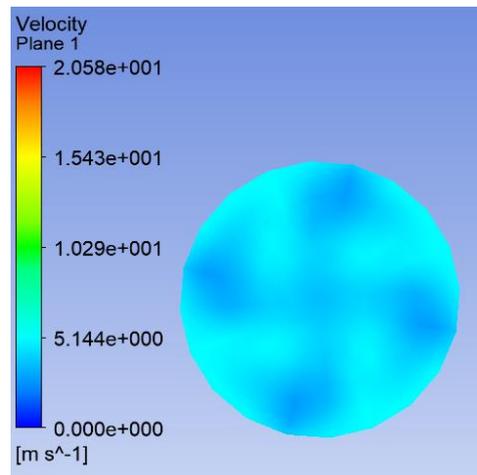
Gambar 6.17 Tampak Belakang Aliran Air MRDP dengan sudut *pitch stator* 6°

Tampak Lingkaran 1 pada Gambar 6.17 merupakan *tangential velocity* (aliran yang melingkar) sedangkan pada Lingkaran 2 merupakan *tangential velocity* akibat *stator*. Kemudian dilakukan *radial sampling* untuk menentukan nilai *velocity of advance* yang terjadi pada *propulsor ini*. *Radial sampling* dilakukan dengan penempatan sebuah *plane* berbentuk lingkaran dengan jari-jari sebesar jari-jari *propeller* pada jarak sepanjang diameter *propeller* dan hasilnya bisa dilihat pada Gambar 6.18 di bawah ini.



Gambar 6.18 Tampak Depan Aliran Air MRDP dengan sudut *pitch stator* 6°

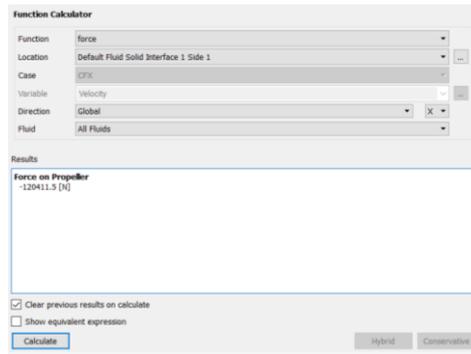
Kemudian data diambil dengan *function calculator* berupa rata-rata kecepatan pada *plane* tersebut dengan nilai *velocity of advance* sebesar 4,14202 m/s. Berikut pada Gambar 6.19 merupakan penampang dari *radial sampling* pada *ducted propeller*.



Gambar 6.19 Tampak Depan *Radial Sampling* pada MRDP dengan sudut *pitch stator* 6°

6.5.2. Thrust dan Torque

Thrust dan *torque* didapatkan dengan bantuan *function calculator* seperti yang telah dijelaskan pada BAB 5. Dimana untuk mendapatkan nilai *thrust* dengan menggunakan fungsi *force* sedangkan untuk mendapatkan nilai *torque* dengan menggunakan fungsi *torque*. Dalam Tugas Akhir ini, *thrust* dan *torque* terbagi menjadi 3 bagian yaitu *propeller*, *stator* dengan sudut *pitch* 6° dan *duct*. Sehingga nilai *thrust* dan *torque* merupakan hasil komulasi dari ke 3 bagian tersebut. Pada Gambar 6.20 merupakan contoh dari *function calculator* dari *thrust propeller*.



Gambar 6.20 Thrust pada Propeller

Kemudian dilakukan komulasi pada nilai *thrust* dan *torque* untuk 3 bagian *propulsor* pada MRDP dengan sudut *pitch stator* 6° dan hasilnya bisa dilihat pada Tabel 6.10.

Tabel 6.10 Thrust dan Torque pada MRDP dengan sudut *pitch stator* 6°

<i>Propulsor</i>	<i>Thrust</i> (N)	<i>Torque</i> (Nm)
MRDP ($s-6^\circ$)	164530,3	86364,1

6.5.3. Efisiensi Propulsor

Nilai J , K_T dan K_Q sudah diperoleh sesuai perhitungan yang telah dilakukan pada sub bab sebelumnya, maka nilai efisiensi *propulsor* dari MRDP dengan sudut *pitch stator* 6° dapat ditemukan. Perhitungan efisiensi *propulsor* dengan menggunakan Persamaan (6.1) yang telah disebutkan di atas dan dengan mensubstitusikan variabel-variabel yang telah diperoleh pada sub bab sebelumnya maka nilai efisiensi *propulsor* MRDP dengan sudut *pitch stator* 6° bisa dilihat pada Tabel 6.11 di bawah ini.

Tabel 6.11 Perhitungan Efisiensi Propulsor MRDP dengan sudut *pitch stator* 6°

<i>Propulsor</i>	<i>Thrust</i> (N)	<i>Torque</i> (Nm)	V_a	J	K_T	K_Q	η_P
MRDP ($s-6^\circ$)	164530,3	86364,1	4,142	0,5730	0,3156	0,0531	0,5421

6.5.4. Efisiensi Sistem Propulsi

Setelah diperoleh nilai efisiensi *propulsor* pada sub bab sebelumnya, maka nilai efisiensi sistem propulsi bisa dihitung. Perhitungan efisiensi sistem propulsi mengacu pada Persamaan (2.6) yang telah disebutkan di atas dan dengan mensubstitusikan variabel-variabel yang telah diperoleh pada sub bab sebelumnya. Dan hasil dari perhitungan nilai efisiensi sistem propulsi dari MRDP dengan sudut *pitch stator* 6° bisa dilihat pada Tabel 6.12 di bawah ini.

Tabel 6.12 Efisiensi Sistem Propulsi MRDP dengan sudut *pitch stator* 6°

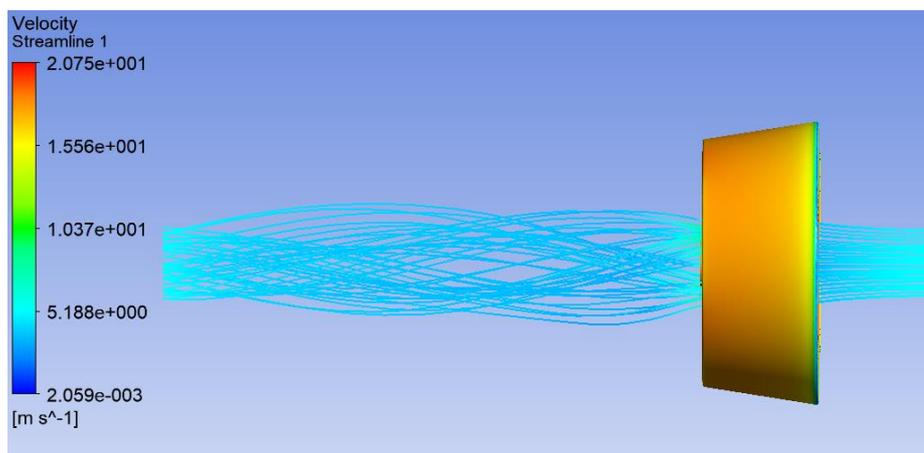
<i>Propulsor</i>	<i>Thrust</i> (kN)	<i>Torque</i> (Nm)	η_P	η_D
MRDP ($s-6^\circ$)	174530,3	86364,1	0,5750	0,5452

6.6. *Multiple Rows Ducted Propeller (MRDP)* dengan sudut *pitch stator* 9°

6.6.1. Pola Aliran Air

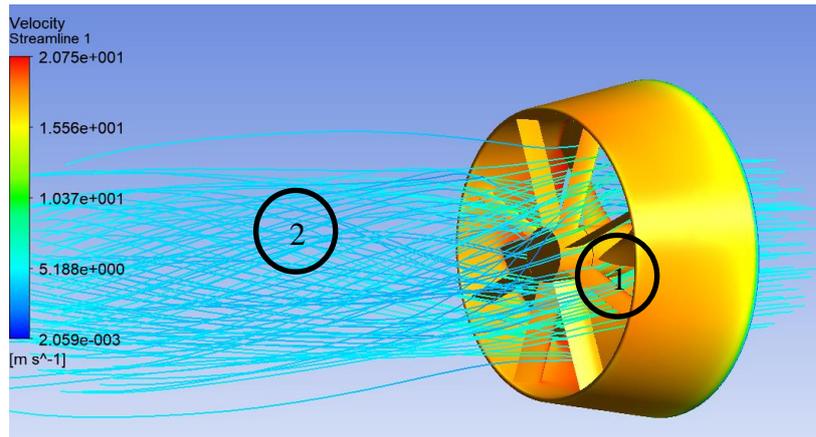
Pada sub bab ini akan dibahas mengenai aliran air yang terjadi di belakang *propulsor*. Pada MRDP dengan sudut *pitch stator* 9° . Pola aliran air diperoleh dengan menggunakan bantuan fungsi *streamline* pada *software CFD tools*. Di dalam fungsi tersebut dapat diatur jumlah garis yang dimana melambangkan aliran air yang melewati *propulsor* dan juga dapat diatur arah pergerakan dari aliran air tersebut. Hasil dari pengaturan fungsi *streamline* bisa dilihat pada Gambar 6.21.

Berdasarkan Gambar 6.21 di bawah ini, terlihat bahwa pola aliran air pada MRDP dengan sudut *pitch stator* 6° merupakan *tangential velocity*. Hal ini terjadi karena aliran air yang masuk melalui *propulsor* berputar terlebih dahulu ketika memasuki *propeller*. Putaran ini menghasilkan *tangential velocity*, kemudian dikarenakan adanya *stator* pada ujung belakang *duct*. Maka *tangential velocity* tersebut akan ter-*cancel out* dan terkonversi menjadi aliran air yang sesuai dengan uliran *pitch* pada *stator*



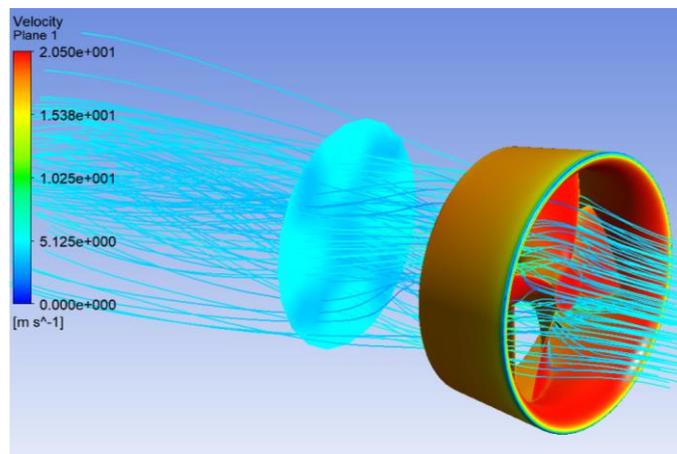
Gambar 6.21 Tampak Samping Aliran Air MRDP dengan sudut *pitch stator* 9°

. Dikarenakan pada bentuk *propulsor* ini sudut *pitch stator* yang diterapkan adalah 9° , maka aliran air yang keluar setelah meninggalkan *stator* akan berwujud semi *tangential velocity* kembali. Hal ini bisa dilihat pada Gambar 6.22, dimana pada gambar tersebut air mengalir sesuai dengan pola desain *propeller*.



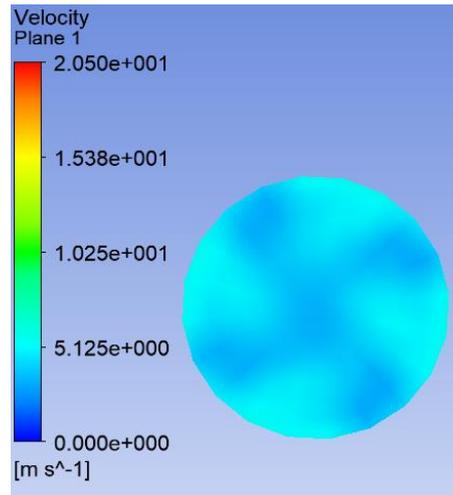
Gambar 6.22 Tampak Belakang Aliran Air MRDP dengan sudut *pitch stator* 9°

Tampak Lingkaran 1 pada Gambar 6.22 merupakan *tangential velocity* (aliran yang melingkar) sedangkan pada Lingkaran 2 merupakan *tangential velocity* akibat *stator*. Kemudian dilakukan *radial sampling* untuk menentukan nilai *velocity of advance* yang terjadi pada *propulsor ini*. *Radial sampling* dilakukan dengan penempatan sebuah *plane* berbentuk lingkaran dengan jari-jari sebesar jari-jari *propeller* pada jarak sepanjang diameter *propeller* dan hasilnya bisa dilihat pada Gambar 6.23.



Gambar 6.23 Tampak Depan Aliran Air MRDP dengan sudut *pitch stator* 9°

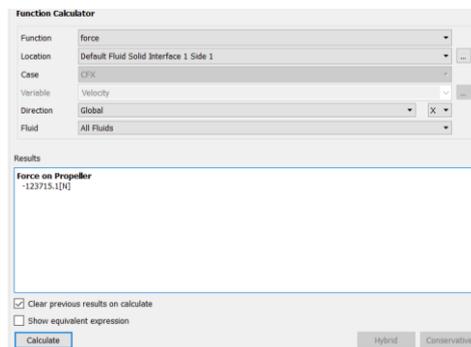
Kemudian data diambil dengan *function calculator* berupa rata-rata kecepatan pada *plane* tersebut dengan nilai *velocity of advance* sebesar 4,14202 m/s. Berikut pada Gambar 6.24 merupakan penampang dari *radial sampling* pada *ducted propeller*.



Gambar 6.24 Tampak Depan *Radial Sampling* pada *MRDP* dengan sudut *pitch stator* 9°

6.6.2. Thrust dan Torque

Thrust dan *torque* didapatkan dengan bantuan *function calculator* seperti yang telah dijelaskan pada BAB 5. Dimana untuk mendapatkan nilai *thrust* dengan menggunakan fungsi *force* sedangkan untuk mendapatkan nilai *torque* dengan menggunakan fungsi *torque*. Dalam Tugas Akhir ini, *thrust* dan *torque* terbagi menjadi 3 bagian yaitu *propeller*, *stator* dengan sudut *pitch* 9° dan *duct*. Sehingga nilai *thrust* dan *torque* merupakan hasil komulasi dari ke 3 bagian tersebut. Pada Gambar 6.25 merupakan contoh dari *function calculator* dari *thrust propeller*.



Gambar 6.25 *Thrust* pada *Propeller*

Kemudian dilakukan komulasi pada nilai *thrust* dan *torque* untuk 3 bagian *propulsor* pada *MRDP* dengan sudut *pitch stator* 9° dan hasilnya bisa dilihat pada Tabel 6.13.

Tabel 6.13 *Thrust* dan *Torque* pada *MRDP* dengan sudut *pitch stator* 9°

<i>Propulsor</i>	<i>Thrust</i> (N)	<i>Torque</i> (Nm)
<i>MRDP</i> (<i>s</i> -9°)	165174,4	88224,1

6.6.3. Efisiensi Propulsor

Nilai J , K_T dan K_Q sudah diperoleh sesuai perhitungan yang telah dilakukan pada sub bab sebelumnya, maka nilai efisiensi *propulsor* dari *MRDP* dengan sudut *pitch stator* 9° dapat ditemukan. Perhitungan efisiensi *propulsor* dengan menggunakan Persamaan (6.1) yang telah disebutkan di atas dan dengan mensubstitusikan variabel-variabel yang telah diperoleh pada sub bab sebelumnya maka nilai efisiensi *propulsor MRDP* dengan sudut *pitch stator* 9° bisa dilihat pada Gambar 6.14 di bawah ini.

Tabel 6.14 Perhitungan Efisiensi *Propulsor MRDP* dengan sudut *pitch stator* 9°

<i>Propulsor</i>	<i>Thrust</i> (N)	<i>Torque</i> (Nm)	V_a	J	K_T	K_Q	η_P
<i>MRDP (s-9°)</i>	165174,4	88224,1	4,049	0,5602	0,3168	0,0542	0,5208

6.6.4. Efisiensi Sistem Propulsi

Setelah diperoleh nilai efisiensi *propulsor* pada sub bab sebelumnya, maka nilai efisiensi sistem propulsi bisa dihitung. Perhitungan efisiensi sistem propulsi mengacu pada Persamaan (2.6) yang telah disebutkan di atas dan dengan mensubstitusikan variabel-variabel yang telah diperoleh pada sub bab sebelumnya. Dan hasil dari perhitungan nilai efisiensi sistem propulsi dari *MRDP* dengan sudut *pitch stator* 9° bisa dilihat pada Tabel 6.15 di bawah ini.

Tabel 6.15 Efisiensi Sistem Propulsi *MRDP* dengan sudut *pitch stator* 9°

<i>Propulsor</i>	<i>Thrust</i> (kN)	<i>Torque</i> (Nm)	η_P	η_D
<i>MRDP (s-9°)</i>	165174,4	88224,1	0,5208	0.4938

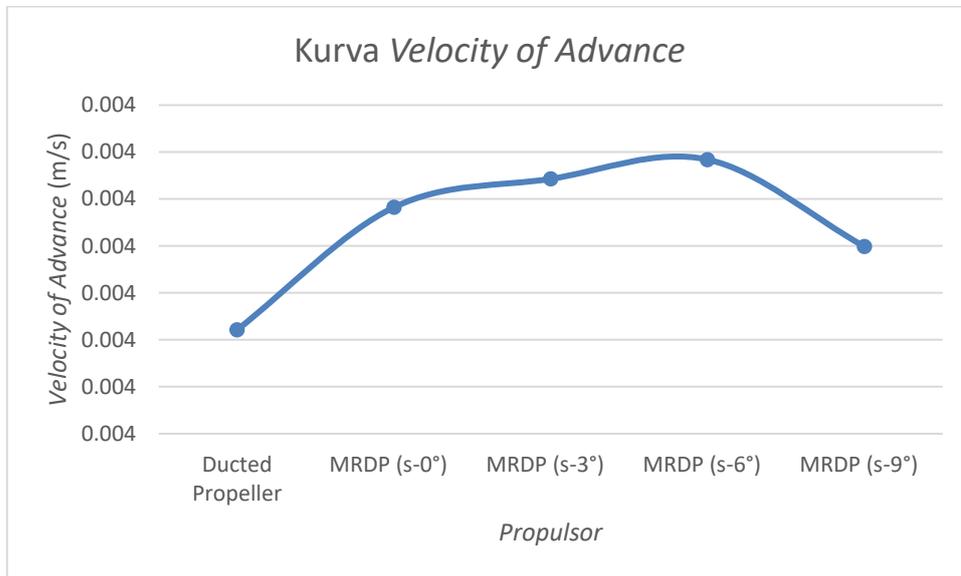
6.7. Studi Komparatif *Velocity of Advance*

Nilai *velocity of advance* pada masing-masing propulsor telah diperoleh kemudian dilakukan studi komparatif terhadap nilai *velocity of advance*. Hasil dari studi komparatif ini nanti akan menentukan nilai mana yang paling tinggi dan hasil rekapitulasi nilai *velocity of advance* pada masing-masing *propulsor* bisa dilihat pada Tabel 6.16 di bawah ini.

Tabel 6.16 Rekapitulasi *Velocity of Advance*

<i>Propulsor</i>	V_a (m/s)
<i>Ducted Propeller</i>	3.961
MRDP (s-0°)	4,091
MRDP (s-3°)	4,121
MRDP (s-6°)	4,142
MRDP (s-9°)	4,049

Dengan mengubah penyajian data dari sebuah tabel menjadi sebuah kurva, maka data yang telah didapatkan akan mudah dianalisis untuk menentukan titik yang optimum, dan hasilnya bias dilihat pada Gambar 6.26 di bawah ini.



Gambar 6.26 Kurva Velocity of Advance

Berdasarkan pada Gambar 6.26 di atas, didapatkan bahwa nilai V_a *propulsor* mengalami peningkatan setelah dilakukan pemasangan *stator*. Hal ini dikarenakan *stator* bisa mempercepat aliran air yang melewati *propulsor*. Tercatat nilai V_a pada MRDP dengan sudut *pitch* 0° mengalami peningkatan sebesar 3,0911 % dari V_a pada *ducted propeller*. Untuk nilai V_a pada MRDP dengan sudut *pitch* 3° mengalami peningkatan sebesar 3,1215 % dari V_a pada *ducted propeller*. Untuk nilai V_a pada MRDP dengan sudut *pitch* 6° mengalami peningkatan sebesar 3,1420 % dari V_a pada *ducted propeller*. Dan untuk nilai V_a pada MRDP dengan sudut *pitch* 9° mengalami peningkatan sebesar 3,0495 % dari V_a pada *ducted propeller*

Dari pembahasan tersebut di atas bahwa dapat ditarik kesimpulan, nilai V_a tertinggi terjadi pada MRDP dengan sudut *pitch* 6° mengalami peningkatan sebesar 10,113 % atau nilai V_a sebesar 4,142 m/s.

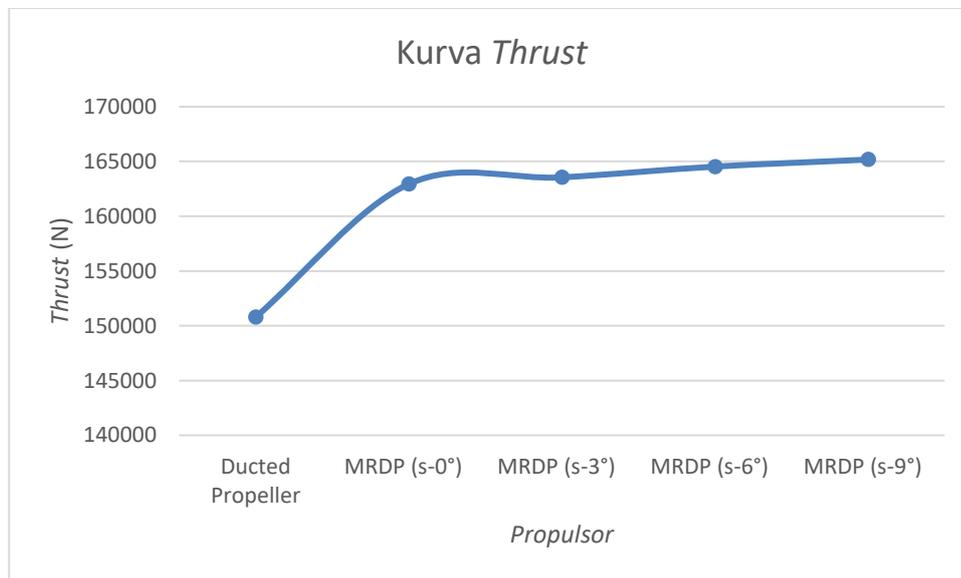
6.8. Studi Komparatif Thrust dan torque

Nilai *thrust* dan *torque* pada masing-masing propulsor telah diperoleh kemudian dilakukan studi komparatif terhadap nilai *tersebut*. Hasil dari studi komparatif ini nanti akan menentukan nilai mana yang paling tinggi dan hasil rekapitulasi nilai *thrust* dan *torque* pada masing-masing *propulsor* bisa dilihat pada Tabel 6.17Tabel 6.16 di bawah ini.

Tabel 6.17 Rekapitulasi *Thrust* dan *Torque*

<i>Propulsor</i>	<i>Thrust</i> (N)	<i>Torque</i> (Nm)
<i>Ducted Propeller</i>	150782,1	81112,9
MRDP (s-0°)	162939,8	85017,9
MRDP (s-3°)	163549,7	85895,8
MRDP (s-6°)	164530,3	86364,1
MRDP (s-9°)	165174,4	88224,1

Dengan mengubah penyajian data dari sebuah tabel menjadi sebuah kurva, maka data yang telah didapatkan akan mudah dianalisis untuk menentukan titik yang optimum, dalam Tugas Akhir ini berupa nilai *thrust* dan *torque* pada *propeller*. Kemudian Tabel 6.17 disajikan menjadi sebuah kurva dan hasilnya bisa dilihat pada Gambar 6.27 dan Gambar 6.28.

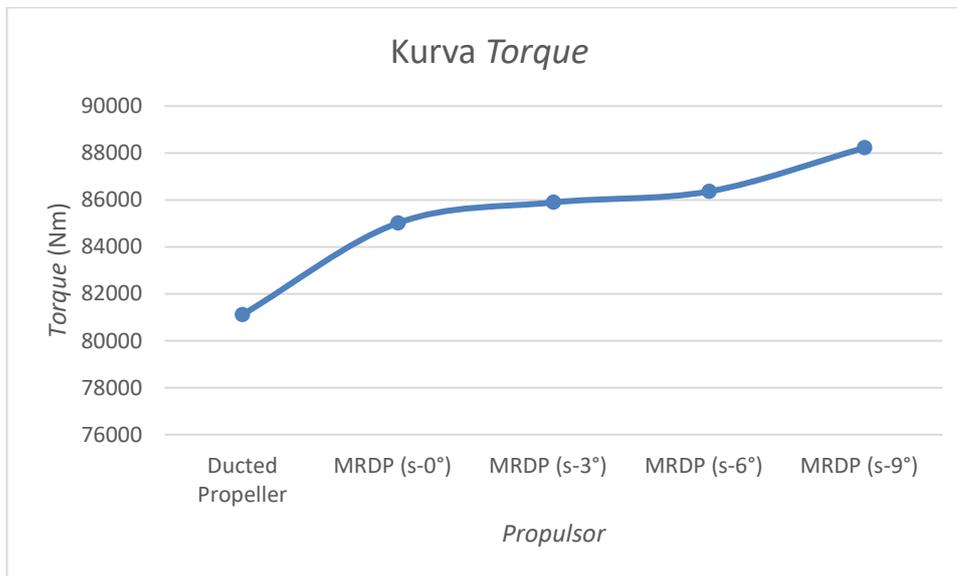


Gambar 6.27 Kurva *thrust propeller*

Berdasarkan dari kurva *thrust* di atas dapat disimpulkan bahwa dengan pemasangan *stator*, nilai *thrust* pada *propulsor* mengalami peningkatan. Hal ini dikarenakan bagian dari *propulsor* juga bertambah dimana yang semula dari 2 bagian (*duct* dan *propeller*) menjadi 3 bagian (*duct*, *stator* dan *propeller*). Tercatat nilai *thrust* pada MRDP dengan sudut *pitch* 0° mengalami peningkatan sebesar 8,063 % dari *thrust* pada *ducted propeller*. Untuk nilai *thrust* pada MRDP dengan sudut *pitch* 3° mengalami peningkatan sebesar 8,468 % dari *thrust* pada *ducted propeller*. Untuk nilai *thrust* pada MRDP dengan sudut *pitch* 6° mengalami peningkatan sebesar 9,118 % dari *thrust* pada *ducted propeller*. Dan untuk nilai *thrust* pada MRDP dengan sudut *pitch* 9° mengalami peningkatan sebesar 9,545 % dari *thrust* pada *ducted propeller*.

Dari pembahasan tersebut di atas bahwa dapat ditarik kesimpulan, nilai *thrust* tertinggi terjadi pada MRDP dengan sudut *pitch* 9° mengalami peningkatan sebesar 9,545 % atau nilai

thrust sebesar 165174 N. Selain itu, nilai *thrust* pada *propulsor* semakin meningkat seiring meningkatnya variasi sudut *pitch* pada *stator*.



Gambar 6.28 Kurva torque propeller

Berdasarkan dari kurva *torque* di atas dapat disimpulkan bahwa dengan pemasangan *stator*, nilai *torque* pada *propulsor* mengalami peningkatan. Hal ini dikarenakan bagian dari propulsor juga bertambah dimana yang semula dari 2 bagian (*duct* dan *propeller*) menjadi 3 bagian (*duct*, *stator* dan *propeller*). Tercatat nilai *torque* pada MRDP dengan sudut *pitch* 0° mengalami peningkatan sebesar 4,814 % dari *torque* pada *ducted propeller*. Untuk nilai *torque* pada MRDP dengan sudut *pitch* 3° mengalami peningkatan sebesar 5,897 % dari *torque* pada *ducted propeller*. Untuk nilai *torque* pada MRDP dengan sudut *pitch* 6° mengalami peningkatan sebesar 6,474 % dari *torque* pada *ducted propeller*. Dan untuk nilai *torque* pada MRDP dengan sudut *pitch* 9° mengalami peningkatan sebesar 8,767 % dari *torque* pada *ducted propeller*.

Dari pembahasan tersebut di atas bahwa dapat ditarik kesimpulan, nilai *torque* tertinggi terjadi pada MRDP dengan sudut *pitch* 9° mengalami peningkatan sebesar 8,767 % atau nilai *torque* sebesar 88224,1 Nm. Selain itu, nilai *torque* pada *propulsor* semakin meningkat seiring meningkatnya variasi sudut *pitch* pada *stator*.

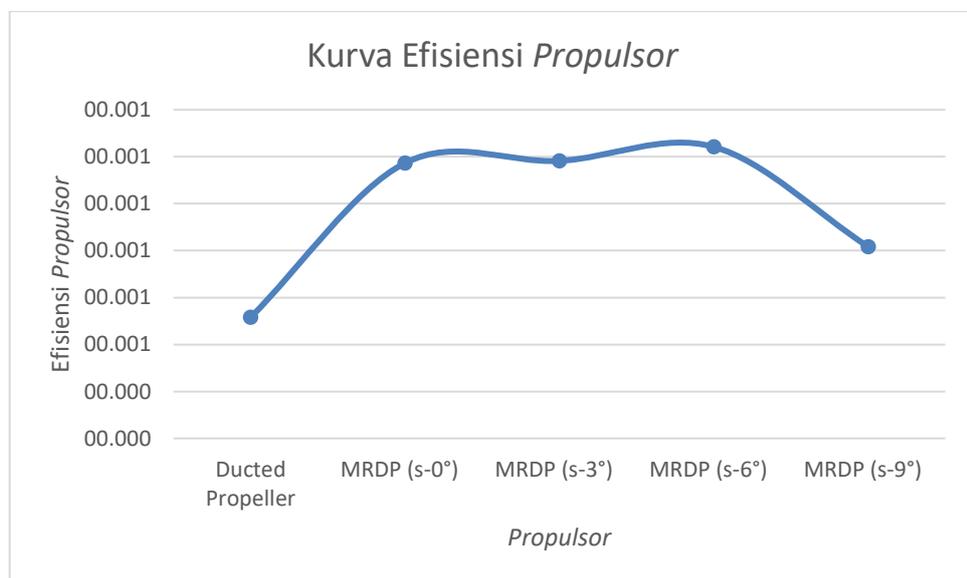
6.9. Studi Komparatif Efisiensi Propulsor

Nilai efisiensi *propulsor* pada masing-masing propulsor telah diperoleh kemudian dilakukan studi komparatif terhadap nilai efisiensi *propulsor*. Hasil dari studi komparatif ini nanti akan menentukan nilai mana yang paling tinggi dan hasil rekapitulasi nilai efisiensi *propulsor* pada masing-masing *propulsor* bisa dilihat pada Tabel 6.18 di bawah ini.

Tabel 6.18 Rekapitulasi Efisiensi *Propulsor*

<i>Propulsor</i>	Thrust (N)	Torque (Nm)	Va	J	K _T	K _Q	η_P
<i>Ducted Propeller</i>	150782,2	81112,9	3,961	0,5479	0,2892	0,0499	0,5058
MRDP (s-0°)	162939,8	85017,9	4,091	0,5660	0,3125	0,0523	0,5387
MRDP (s-3°)	163549,7	85895,8	4,121	0,5702	0,3137	0,0528	0,5391
MRDP (s-6°)	164530,3	86364,1	4,142	0,5730	0,3156	0,0531	0,5421
MRDP (s-9°)	165174,4	88224,1	4,049	0,5602	0,3168	0,0542	0,5208

Data pada Tabel 6.18 disajikan ke dalam sebuah kurva, sehingga akan lebih mudah dalam menganalisis hasil perhitungan dan kurva tersebut bisa dilihat pada Gambar 6.29 di bawah ini.



Gambar 6.29 Kurva Efisiensi *Propulsor*

Berdasarkan dari kurva efisiensi di atas dapat disimpulkan bahwa dengan pemasangan *stator*, nilai efisiensi *propulsor* mengalami peningkatan. Hal ini dikarenakan 3 variabel yang mempengaruhi nilai efisiensi *propulsor* yaitu *velocity of advance*, *thrust* dan *torque* juga mengalami peningkatan. Tercatat nilai efisiensi *propulsor* pada MRDP dengan sudut *pitch* 0° mengalami peningkatan sebesar 6,4974 % dari efisiensi *propulsor* pada *ducted propeller*. Untuk nilai efisiensi *propulsor* pada MRDP dengan sudut *pitch* 3° mengalami peningkatan sebesar 6,5876 % dari efisiensi *propulsor* pada *ducted propeller*. Untuk nilai efisiensi *propulsor* pada MRDP dengan sudut *pitch* 6° mengalami peningkatan sebesar 7,1775 % dari efisiensi *propulsor* pada *ducted propeller*. Dan untuk nilai efisiensi *propulsor* pada MRDP dengan sudut *pitch* 9° mengalami peningkatan sebesar 2,9754 % dari efisiensi *propulsor* pada *ducted propeller*.

Dari pembahasan tersebut di atas bahwa dapat ditarik kesimpulan, nilai efisiensi *propulsor* tertinggi terjadi pada MRDP dengan sudut *pitch* 6° mengalami peningkatan sebesar 7,1775 % atau nilai efisiensi *propulsor* sebesar 0,5421. Selain itu, nilai efisiensi *propulsor* berbanding lurus dengan *thrust* dan *torque* dimana nilai efisiensi akan meningkat ketika nilai *thrust* dan *torque* meningkat. Namun pada Tugas Akhir ini nilai efisiensi mengalami peningkatan dan penurunan. Dimana nilai *efisiensi* pada *propeller* mengalami peningkatan dari pemasangan stator dengan 0° sampai dengan titik puncak pada pemasangan *stator* dengan sudut 6° yaitu sebesar 0,5421. Setelah itu *efisiensi* mengalami penurunan ketika pemasangan *stator* dengan sudut 9°. Hal ini dikarenakan terdapat 3 variabel yang mempengaruhi nilai efisiensi *propulsor* yang sesuai dengan Persamaan (2.14) di bawah ini :

$$\eta_P = \frac{V_a T}{2 \pi n Q} \quad (6.1)$$

Dimana, nilai V_a , *thrust* dan *torque* memiliki sifat berbanding lurus dengan nilai efisiensi *propulsor* dimana ketika 3 nilai tersebut meningkat maka nilai efisiensi juga meningkat. Namun, dalam Tugas Akhir ini ada kondisi nilai V_a pada MRDP dengan sudut *pitch* *stator* 9 mengalami penurunan. Dari kasus ini maka akan mengakibatkan variabel V_a menjadi lebih kecil sehingga nilai efisiensi *propulsor* pada MRDP dengan sudut *pitch* *stator* 9° menjadi lebih kecil daripada MRDP dengan sudut *pitch* *stator* 6°.

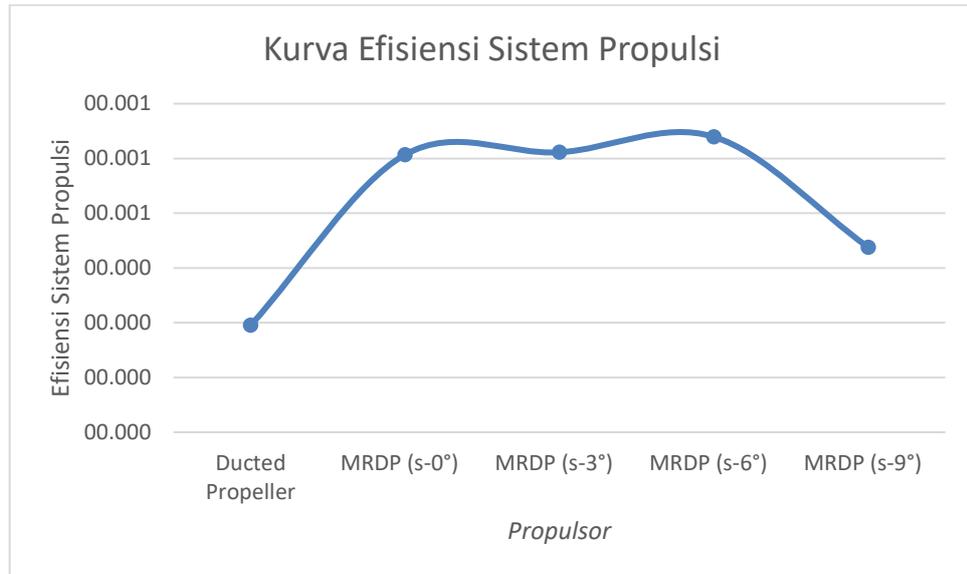
6.10. Studi Komparatif Efisiensi Sistem Propulsi

Nilai efisiensi *propulsor* pada masing-masing *propulsor* telah diperoleh kemudian dilakukan studi komparatif terhadap nilai efisiensi *propulsor*. Hasil dari studi komparatif ini nanti akan menentukan nilai mana yang paling tinggi dan hasil rekapitulasi nilai efisiensi *propulsor* pada masing-masing *propulsor* bisa dilihat pada Tabel 6.19 di bawah ini.

Tabel 6.19 Rekapitulasi Efisiensi Sistem Propulsi

<i>Propulsor</i>	<i>Thrust</i> (kN)	<i>Torque</i> (Nm)	η_P	η_D
<i>Ducted Propeller</i>	150782,2	81112,9	0,5058	0.4795
MRDP (s-0°)	162939,8	85017,9	0,5387	0.5107
MRDP (s-3°)	163549,7	85895,8	0,5391	0.5111
MRDP (s-6°)	164530,3	86364,1	0,5421	0.5139
MRDP (s-9°)	165174,4	88224,1	0,5208	0.4938

Data pada Tabel 6.19 disajikan ke dalam sebuah kurva, sehingga akan lebih mudah dalam menganalisis hasil perhitungan dan kurva tersebut bisa dilihat pada Gambar 6.30 di bawah ini.



Gambar 6.30 Kurva Efisiensi Sistem Propulsi

Berdasarkan dari kurva efisiensi sistem propulsi pada Gambar 6.30 dapat disimpulkan bahwa kurva efisiensi sistem propulsi memiliki sifat yang mirip dengan kurva efisiensi *propulsor*. Dimana nilai V_a , $thrust$ dan $torque$ memiliki sifat berbanding lurus dengan nilai efisiensi sistem propulsi selain itu terdapat 2 variabel yaitu η_H . η_R memiliki nilai yang tetap untuk masing-masing *propulsor*. Tercatat nilai efisiensi sistem propulsi pada MRDP dengan sudut *pitch* 0° mengalami peningkatan sebesar 6,4794 % dari efisiensi sistem propulsi pada *ducted propeller*. Untuk nilai efisiensi sistem propulsi pada MRDP dengan sudut *pitch* 3° mengalami peningkatan sebesar 6,5876 % dari efisiensi sistem propulsi pada *ducted propeller*. Untuk nilai efisiensi sistem propulsi pada MRDP dengan sudut *pitch* 6° mengalami peningkatan sebesar 7,1775 % dari efisiensi sistem propulsi pada *ducted propeller*. Dan untuk nilai efisiensi sistem propulsi pada MRDP dengan sudut *pitch* 9° mengalami peningkatan sebesar 2,9754 % dari efisiensi sistem propulsi pada *ducted propeller*.

Dari pembahasan tersebut di atas bahwa dapat ditarik kesimpulan, nilai efisiensi sistem propulsi tertinggi terjadi pada MRDP dengan sudut *pitch* 6° mengalami peningkatan sebesar 7,1775 % atau nilai efisiensi sistem propulsi sebesar 0,5139.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 7

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan simulasi CFD dengan bantuan *software CFD tools*, maka kesimpulan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pola aliran alir yang terjadi pada *ducted propeller* berbeda dengan *multipler rows ducted propeller*. Dimana *ducted propeller* memiliki pola yang *tangential velocity* sedangkan *MRDP (s-0°)* memiliki pola garis lurus, pada *MRDP (s-3°)*, *MRDP (s-6°)* dan *MRDP (s-9°)* memiliki pola semi *tangential velocity*. Hal ini mengakibatkan nilai V_a pada *multiple rows ducted propeller* lebih besar daripada *ducted propeller*. Tercatat nilai V_a tertinggi pada *MRDP (s-6°)* yakni sebesar 4,124 m/s.
2. Penggunaan *stator*, membuat nilai *thrust* dan *torque* mengalami peningkatan. Hasil nilai *thrust* dan *torque* bisa dilihat pada Tabel 6.17. Dimana nilai *thrust* tertinggi terletak pada *multiple rows ducted propeller* dengan sudut *pitch* 9° 165174,4 kN. Untuk nilai *torque* tertinggi terletak pada *multiple rows ducted propeller* dengan sudut *pitch* 9° yaitu sebesar 88224,1 Nm
3. Dengan nilai *thrust* dan *torque* yang meningkat, mengakibatkan perubahan pada nilai efisiensi sistem propulsi. Hasil dari efisiensi sistem propulsi dapat dilihat pada Tabel 6.19. Namun untuk nilai efisiensi sistem propulsi kapal mengalami peningkatan dan penurunan. Tercatat bahwa nilai efisiensi sistem propulsi paling tinggi terletak pada *multiple rows ducted propeller* dengan sudut *pitch* 6° yakni sebesar 0,5139 Setelah itu mengalami penurunan ketika pemasangan *stator* dengan sudut 9°.

7.2. Saran

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan pada Tugas Akhir ini, masih banyak batarsan perhitungan yang terlalu luas. Maka untuk menyempurnakan Tugas Akhir ini terdapat beberapa hal yang disarankan adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan kavitasi juga diperlukan karena termasuk salah satu perhitungan dalam proses desain *propeller*.
2. Perlunya penerapan pemasangan *stator* pada tipe *propeller* lain dan variasi *stator*

DAFTAR PUSTAKA

- Ahadyanti, Gita Marina. (2014). Tugas Akhir. *Modifikasi Bentuk Lambung Pada Shallow Draft Bulk Carrier untuk Menurunkan Konsumsi Bahan Bakar*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Airfoil Tools. (2020). *NACA 0012 Airfoils*. Dari website: Airfoiltools.com diakses pada 14 Oktober 2019
- Anderson, J.D. (1995). *Computational Fluid Dynamics : The Basics with Applications*. Department of Aerospace Engineering-University of Maryland.
- Anggara, Sony. (2013). Thesis. *Studi Komparatif Performa Hidrodinamik Kapal Bertipe Shallow Draft Barge Pada Kondisi Perairan Dangkal, Sedang dan Dalam*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Aryawan, W.D. (2003). Ph.D. Thesis. *An Investigation into the Potential of Multiple Rows Ducted Propellers for Marine Applications*. Newcastle upon Tyne, UK: University of Newcastle upon Tyne.
- Carlton, J.S. (2007). *Marine Propellers and Propulsion*. British Library. Oxford
- Dhana, Febriani Rohma. (2018). Thesis. *Analisis Alternatif Hull Form Self-Propelled Barge untuk Meningkatkan Performa Hidrodinamika*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Harvald, S.S. (1983). *Resistance and Propulsion of Ships*. New York: John Wiley and Sons.
- International Towing Tank Conference . (2014). *ITTC Quality System Manual Open Water Test Procedures*. ITTC.
- International Maritime Organization. (1986). *MARPOL Annex 1 Regulation 18*. Dari website www.marpoltraining.com diakses pada 20 Oktober 2019
- KM Pusri Indonesia I. (2014). *Pelayaran Perdana KM Pusri Indoensia I*. Dari website: www.rmolsumsel.com diakses pada 13 Desember 2019
- Koronowicz, Tadeusz; Krzemianowski, Zbigniew dkk. 2019. *A Complete Design of Ducted Propellers Using The New Computer System*. Gdańsk : Gdańsk University of Technology Narutowicza
- Learn Ship Design. (2018). *Types of Propellers*. Dari website: lshipdesign.blogspot.com diakses pada 6 November 2019
- Lewis, E. V. (1998). Principles of Naval Architecture Second Revision. *The Society of Naval Architects and Marine Engineers*. Jersey City.
- Molland, Anthony F., Turnock, Stephen dan Hudson, Dominic A.(2011). *Ship Resistance and Propulsion*. Cambridge University.
- Lembaga Hidrodinamika Indonesia.(2013). *Tes Hambatan Kapal SPUB (Self Propelled Urea Barge) Pusri Indonesia I*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
- Oosterveld M. W. C. (1970). *Wake Adapted Ducted Propeller*. Amsterdam.
- Setiawan, A. Yoni. (2014). Tugas Akhir. *Modifikasi Bentuk Buritan Pada Shallow Draft Bulk Carrier untuk Meningkatkan Efisiensi Sistem Propulsi*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Widyatno. (2012). Tugas Akhir. *Analisa Aliran pada Ducted Propeller dengan Pendekatan CFD (Computational Fluid Dynamics)*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

LAMPIRAN

- Lampiran A Perhitungan *Thrust* dan *Torque*
- Lampiran B Pemodelan Diagram K_T - K_Q - J Ka 4-70
- Lampiran C Perhitungan Kurva K_T Desain
- Lampiran D Perhitungan Dimensi *Propeller*
- Lampiran E Variasi Sudut *Picth Stator*
- Lampiran F Pola Aliran Air
- Lampiran G *Radial Sampling Velocity of Advance*
- Lampiran H Perhitungan Efisiensi

LAMPIRAN A
PERHITUNGAN *THRUST & VELOCITY OF ADVANCE*

Perhitungan Wake & Thrust

Thrust			
$T = \frac{R_T}{(1-t)}$			
Input Data :			
Lpp =	130,700 m	Cb =	0,880
Lwl =	134,000 m	Cm =	0,996
H =	11,000 m	Cwp =	0,961
B =	26,400 m	Cp =	0,884
T =	5,400 m	Vs =	10,000 Knots
LCB =	1,341 m		5,144 m/s
∇ =	16810,675 ton	Fn =	0,142
RT =	141,676 kN		
Perhitungan :			
Thrust Deduction			
$t = 0,325 C_b - 0,1885 D/\nabla(B/T)$			
D =	0,6667 T Kosong		
=	3,120156 m		
t =	0,020		
$T = \frac{R_T}{(1-t)}$			
T =	144,567 kN		
Wake Fraction			
$w = 0,325 C_b + 10 C_v C_b - 0,23D/\nabla(B/T)$			
dimana; $C_v = (1+k) C_F + C_A$			
• C_{F0} (Friction Coefficient - ITTC 1957)			
$R_{wv} =$	$L_{wv} \cdot \frac{V_s^2}{\nu}$	$\nu =$	1,18831E-06 kinematic viscosity
=	580.113.741		
$C_{F0} =$	$\frac{0,075}{(\log Rn - 2)^2}$	=	0,00164
• Harga 1 + k₁ (Form Factor of Bare Hull)			
$1 + k_1 = 0,93 + 0,482 C_b^{1,0081} \left(\frac{B}{L}\right)^{0,4611} \left(\frac{T}{L}\right)^{0,1216} \left(\frac{L}{\nabla}\right)^{0,3649} (1 - C_p)^{0,8041}$			
=	1,4861		
by Coeff)	$c = 1 + 0,011 c_{stem}$	$c_{stem} = 0$,	karena bentuk Afterbody normal
=	1		
$\frac{L_R}{L} =$	$1 - C_p + \frac{0,06 C_p \cdot LCB}{(4C_p - 1)}$		
=	0,144		
$L^2/\nabla =$	143,130		
Appendage Resistance			
• Wetted Surface Area			
$A_{BT} =$	cross sectional area of bulb in FP		
=	10% . B . T . Cm		
=	0 → tanpa bulb		
$S =$	$L(2T+B)C_{st}^{0,8} (0,4530 + 0,4425C_b - 0,2862C_{st} - 0,00346\frac{L^2}{T} + 0,3696C_{app}) + 2,38\frac{A_{BT}}{C_b}$		
=	4455,353 m ²		
$C_1 =$	1,0 for general		
$C_2 =$	1,0 for semi-spade rudders		
$C_3 =$	1,0 for NACA profile and plate rudder		
$C_4 =$	1,0 for rudder in the propeller jet		
$S_{Rudder} =$	$C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot \frac{1,75 \cdot L \cdot T}{100}$		
=	25,326 m ²		
$S_{Bilge\ Keel} =$	$L_{keel} \cdot H_{keel} \cdot 4$ $L_{keel} = 0,6 \cdot C_b \cdot L$ $H_{keel} = 0,18 / (C_b - 0,2)$		
=	74,914 70,752 0,265		
$S_{app} =$	total wetted surface of appendages		
=	$S_{Rudder} + S_{Bilge\ Keel}$		
=	100,240 m ²		
$S_{tot} =$	wetted surface of bare hull and appendages		
=	$S + S_{app}$		
=	4555,593 m ²		
• Harga 1 + k₂			
$(1+k_2)_{effective} = \frac{\sum s_i (1+k_2)_i}{\sum s_i}$			
=	1,754		
Harga (1+k ₂) =	2,8 → spade rudder of twin screws ship		
=	1,4 → for bilge keels		
$1 + k =$	$1 + k_1 + [1 + k_2 - (1 + k_1)] \frac{S_{app}}{S_{tot}}$		
=	1,492		
• C_A (Model-Correlation Allowance)			
$C_A =$	$0,006 (Lwl + 100)^{0,16} \cdot 0,00205 \rightarrow Tl/Lwl \geq 0,04$ $Tl/Lwl = \#REF!$		
=	0,0005		
$C_v =$	$(1+k) C_F + C_A$		
=	0,00290		
$w =$	$0,325 C_b + 10 C_v C_b - 0,23D/\nabla(B/T)$		
=	-0,013		
Velocity of Advance			
$V_a =$	$V_s \times (1 - w)$		
=	10,130 knots		
=	5,211 m/s		

LAMPIRAN B
PEMODELAN DIAGRAM K_T-K_Q-J KA 4-70
DENGAN *DUCT* 19 A

Variabel Perhitungan Diagram KT KQ J

T (kosong) =	4,6800	m			
T (sarat) =	4,68	m			
D =	0.6667 x T				
	3,12	m			
T =	144,57	kN			
g =	9,81	m/s ²			
Va =	5,21	m/s			
ρ =	1025	kg/m ³			
Jenis Propeller =	Ka Series 4-70				
Z =	4				
AE/AO =	0,70				
Jenis Duct =	19 A				
Variasi J =	0,00		0,70		
	0,05		0,75		
	0,10		0,80		
	0,15		0,85		
	0,20		0,90		
	0,25		0,95		
	0,30		1,00		
	0,35		1,05		
	0,40		1,10		
	0,45		1,15		
	0,50		1,20		
	0,55		1,25		
	0,60		1,30		
	0,65				
Variasi P/D =	0,60				
	0,80				
	1,00				
	1,20				
	1,40				

LAMPIRAN C
PERHITUNGAN KURVA K_T DESAIN

Perhitungan KT Desain

Advance Coefficient

$$J = \frac{V a}{n \cdot D}$$

$$n = \frac{V a}{J D}$$

J

KT Des

0,00	0,0000000
0,05	0,0013336
0,10	0,0053343
0,15	0,0120023
0,20	0,0213374

KT

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

0,25	0,0333396
0,30	0,0480091
0,35	0,0653457
0,40	0,0853495
0,45	0,1080205

Subtitusi

$$KT = \frac{T J^2}{\rho V a^2 D^2}$$

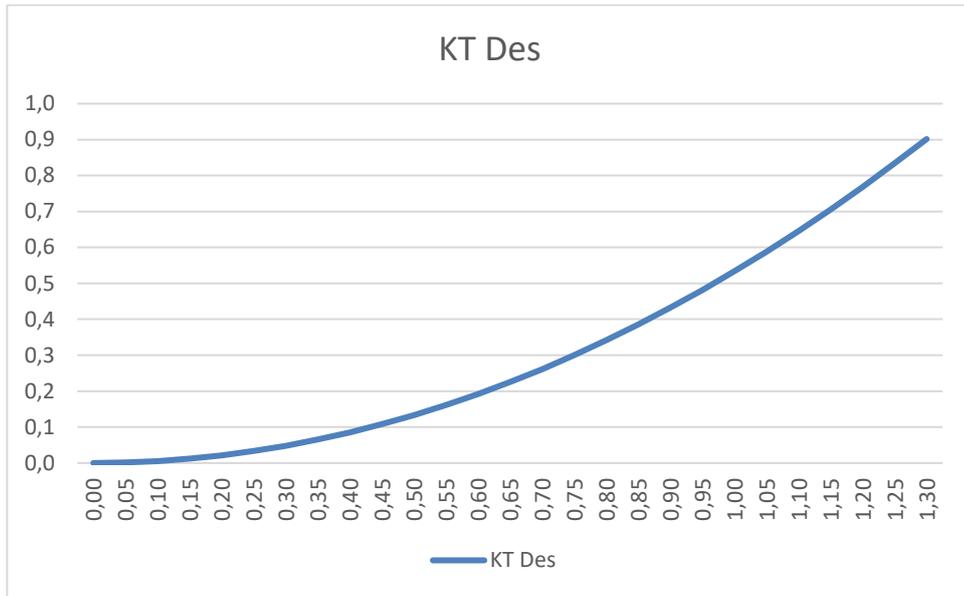
0,50	0,1333586
0,55	0,1613639
0,60	0,1920364
0,65	0,2253760
0,70	0,2613828
0,75	0,3000568
0,80	0,3413980
0,85	0,3854063
0,90	0,4320818
0,95	0,4814245
1,00	0,5334343
1,05	0,5881114
1,10	0,6454555
1,15	0,7054669
1,20	0,7681454
1,25	0,8334911
1,30	0,9015040

$$\rho = 1025 \quad \text{kg/m}^3$$

$$V a = 5,21 \quad \text{m/s}$$

$$T = 144566,854 \quad \text{N}$$

$$D = 3,120156 \quad \text{m}$$



LAMPIRAN D
PERHITUNGAN DIMENSI *PROPELLER*

Regresi Kurva

Perpotongan Kurva KT Des - KT

P/D	KT	
	x	y
0,6	0,374	0,383
0,8	0,485	0,506
1	0,594	0,575
1,2	0,697	0,607
1,4	0,784	0,599

KT

$$y = -1,854x^2 + 2,6734x - 0,3569$$

$$y' = -3,708x + 2,6734$$

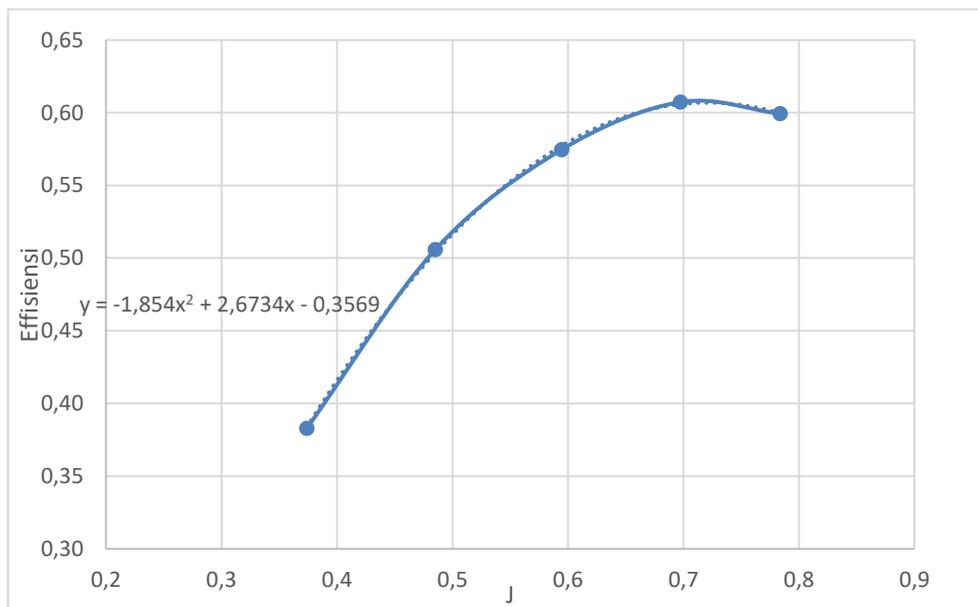
$$x = 0,721 \quad \text{---> Advance coefficient (J)}$$

$$y = 0,607 \quad \text{---> Efisiensi propeler}$$

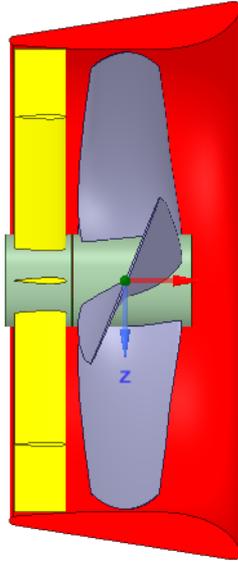
$$KT = 0,2773$$

Interpolasi 2 titik

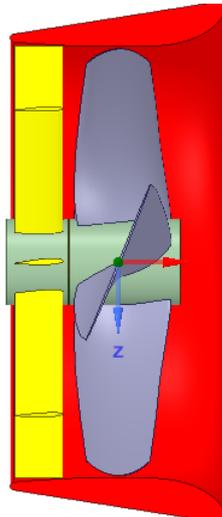
Variasi = 4	Variasi = 5		
P/D = 1,20	P/D = 1,4	P/D = 1,25279	Optimum
J = 0,697	J = 0,784	J = 0,721	
KT = 0,2593	KT = 0,3275	KT = 0,2773	



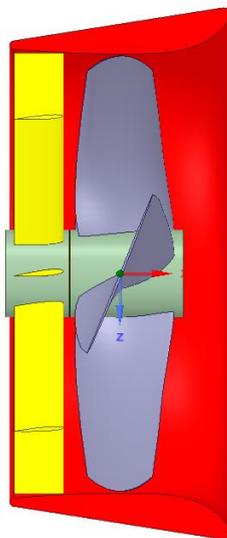
LAMPIRAN E
VARIASI SUDUT *PITCH STATOR*



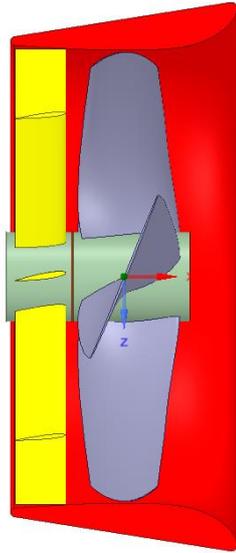
Gambar E.1 Tampak Memanjang *Multiple Rows Ducted Propeller* dengan sudut *pitch* 0°



Gambar E.2 Tampak Memanjang *Multiple Rows Ducted Propeller* dengan sudut *pitch* 3°



Gambar E.3 Tampak Memanjang *Multiple Rows Ducted Propeller* dengan sudut *pitch* 6°



Gambar E.4 Tampak Memanjang *Multiple Rows Ducted Propeller* dengan sudut *pitch* 9°

LAMPIRAN F
PERHITUNGAN EFISIENSI

Perhitungan Effisiensi Propeller (η_0)

Input data :

$$\begin{aligned} J &= 0.721 \\ \rho &= 1025 \text{ kg/m}^3 \\ Va &= 5.2114 \text{ m/s} \\ D &= 3.1201 \text{ m} \\ n &= 2.3167 \text{ rev/sec} \end{aligned}$$

KT

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

KQ

$$KQ = \frac{Q}{\rho n^2 D^5}$$

η_0

$$\eta_0 = \frac{J KT}{2\pi KQ}$$

Propeller	Thrust (kN)	Torque (Nm)	Va	J	KT	KQ	η_0
Ducted Propeller	148124.1	72036.5	3.762	0.5204	0.2841	0.0443	0.5314
MRDP 0°	171939.8	85017.9	4.091	0.5660	0.3298	0.0523	0.5684
MRDP 3°	173549.7	85895.8	4.12145	0.5702	0.3329	0.0528	0.5721
MRDP 6°	174530.3	86364.1	4.14202	0.5730	0.3348	0.0531	0.5750
MRDP 9°	175174.4	88224.1	4.04948	0.5602	0.3360	0.0542	0.5524

Perhitungan Effisiensi Propeller (η_0)

G.3 Perhitungan efisiensi hull, η_H

$$\begin{aligned} \eta_H &= (1 - t) / (1 - w) \\ &= 0.97 \end{aligned}$$

G.4 Perhitungan efisiensi Rotative, η_R

$$\eta_R = 0.98$$

G.5 Perhitungan open water test, η_o

$$\begin{aligned} \eta_o &= 0.50 \leq \eta_o \leq 0.669 \\ &= 0.600 \end{aligned}$$

G.6 Perhitungan efisiensi propulsif, η_D

$$\eta_D = \eta_H \times \eta_R \times \eta_p$$

Propeller	Thrust (kN)	Torque (Nm)	η_0	η_D	Selisih η_D (%)
Ducted Propeller	148124.1	72036.5	0.5314	0.5038	
MRDP 0°	171939.8	85017.9	0.5684	0.5389	6.9704
MRDP 3°	173549.7	85895.8	0.5721	0.5424	7.6605
MRDP 6°	174530.3	86364.1	0.5750	0.5452	8.2191
MRDP 9°	175174.4	88224.1	0.5524	0.5237	3.9530

BIODATA PENULIS



Irza Nur Afifudin, itulah nama lengkap Penulis. Dilahirkan di Klaten pada 14 Juni 1997 silam, Penulis merupakan anak pertama dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK Pertiwi, kemudian melanjutkan ke SDN I Jurangjero, SMPN 1 Delanggu dan SMAN 1 Klaten. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2015 melalui jalur SNMPTN.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Desain Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi *staff* syiar Lembaga Dakwah Departemen Teknik Perkapalan As-Safiinah 2016/2017 dan Kadep PSDM Lembaga Dakwah Departemen Teknik Perkapalan As-Safiinah 2017/2018 serta *staff* Departemen Kesejahteraan Mahasiswa Himatekpal FTK ITS 2016/2017 dan Kadep Departemen Kesejahteraan Mahasiswa Himatekpal FTK ITS 2017/2018.

Penulis tercatat pernah menjadi *grader* untuk mata kuliah Hambatan dan Propulsi Kapal

Email: irza15@mhs.na.its.ac.id