



SKRIPSI – ME184834

ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN *PROPELLER BOSS CAP FINS* PADA PERFORMA *SKEWED PROPELLER* DENGAN METODE CFD

Anson Novendra Pradana
NRP. 04211640000015

Dosen Pembimbing :
Irfan Syarief Arief, S.T., M.T.
Achmad Baidowi, S.T., M.T.

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



SKRIPSI – ME184834

ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN *PROPELLER BOSS CAP FINS* PADA PERFORMA *SKEWED PROPELLER* DENGAN METODE CFD

Anson Novendra Pradana
NRP. 04211640000015

Dosen Pembimbing :
Irfan Syarief Arief, S.T., M.T.
Achmad Baidowi, S.T., M.T.

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



BACHELOR THESIS – ME184834

**ANALYSIS OF THE EFFECTS FROM ADDING PROPELLER BOSS
CAP FINS TO SKEWED PROPELLER PERFORMANCE WITH CFD
METHODS**

Anson Novendra Pradana
NRP. 04211640000015

Supervisor :
Irfan Syarief Arief, S.T., M.T.
Achmad Baidowi, S.T., M.T.

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

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN *PROPELLER BOSS CAP FINS* PADA PERFORMA *SKEWED PROPELLER* DENGAN METODE CFD

Tugas Akhir

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang studi *Marine Manufacturing and Design* (MMD)
Program studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Anson Novendra Pradana
04211640000015

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Irfan Syarief Arief, S.T., M.T.
NIP. 196912251997021001

()

2. Achmad Baidowi, S.T., M.T.

()

SURABAYA
JULI 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN *PROPELLER BOSS CAP FINS* PADA PERFORMA *SKewed PROPELLER* DENGAN METODE CFD

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi *Marine Manufacturing and Design (MMD)*
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Penulis:

Anson Novendra Pradana

NRP. 0421164000015

Disetujui Oleh,
Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan



Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph.D

NIP. 197903192008011008

SURABAYA

AGUSTUS, 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN *PROPELLER BOSS CAP FINS* PADA PERFORMA *SKEWED PROPELLER* DENGAN METODE CFD

Nama Mahasiswa : Anson Novendra Pradana
NRP : 04211640000015
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : 1. Irfan Syarief Arief, S.T., M.T.
2. Achmad Baidowi, S.T., M.T.

ABSTRAK

Biaya bahan bakar termasuk dalam biaya terbesar dalam pengoperasian kapal. Salah satu cara untuk mengurangi konsumsi bahan bakar adalah dengan menambah efisiensi dari *propeller*. Semakin tinggi nilai efisiensi *propeller* maka energi yang terbuang dari *main engine* lebih sedikit sehingga gaya dorong menjadi lebih besar dan konsumsi bahan bakar berkurang. Salah satu cara untuk menambah efisiensi *propeller* adalah dengan menambahkan *Propeller Boss Cap Fins (PBCF)*. *PBCF* juga mampu mengurangi *noise* yang dihasilkan oleh *propeller*. Hal ini sangat cocok untuk diaplikasikan pada kapal – kapal perang terutama kapal selam jenis *submarine*. Diharapkan dengan bertambahnya efisiensi *propeller*, kapal selam mampu bertahan lebih lama di bawah permukaan air tanpa harus sering naik ke permukaan untuk melakukan *recharge* daya baterai. Beberapa literasi juga menyebutkan *PBCF* dapat meningkatkan efisiensi *propeller* hingga 7% dan mengurangi *noise* sebesar 6 dB Pada penelitian kali ini dilakukan penelitian tentang pengaruh sudut *phase lag PBCF* terhadap performa dan aliran yang dihasilkan oleh *skewed propeller*. Pada penelitian ini digunakan metode *Computational Fluid Dynamics (CFD)* dengan memvariasikan 4 variasi sudut *phase lag* yaitu 0°, 12.86°, 25.72° dan 38.58°. Hasil pada penelitian ini menyebutkan bahwa seluruh variasi sudut *phase lag* mampu meningkatkan efisiensi dan mengurangi torsi *propeller*. Namun, untuk nilai *thrust* cenderung turun. Selain itu, seluruh variasi sudut *phase lag* juga efektif untuk mengurangi *hub vortex*.

Kata Kunci* : *Propeller Boss Cap Fins, CFD, Performa

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALYSIS OF THE EFFECTS FROM ADDING PROPELLER BOSS CAP FINS TO SKEWED PROPELLER PERFORMANCE WITH CFD METHODS

Student's Name : Anson Novendra Pradana
NRP : 04211640000015
Department : Marine Engineering
Supervisors : 1. Irfan Syarief Arief, S.T., M.T.
2. Achmad Baidowi, S.T., M.T.

ABSTRACT

The majority of the ship's operational expenses are spent for fuel. Reducing fuel consumption can be achieved by increasing propeller efficiency. The greater the efficiency, the fewer energy loss. High propeller efficiency may let ships produce more thrust while reducing fuel consumption. Installation of Propeller Boss Cap Fin (PBCF) is one of the methods for enhancing propeller efficiency which suitable for a submarine. PBCF may reduce the submarine's energy consumption, so the submarine will not have to recharge its battery often. Some researches found PBCF can increasing propeller efficiency by 7% while reducing voice almost by 6 dB. This thesis will be focused on the impact of the PBCF phase lag variation for skewed propeller performance and flow. The research will be done using CFD simulation with phase lags 0, 12.86, 25.72, and 38.58. Based on the simulation, it is proven if PBCF can increasing propeller efficiency and reducing propeller torque. Even though all phase lag variations show decreasing of propeller thrust. They also show the presence of distraction on their hub vortex

keyword : Propeller Boss Cap Fins, CFD, Performance

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul :

“ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN *PROPELLER BOSS CAP FINS* PADA PERFORMA *SKEWED PROPELLER* DENGAN METODE CFD”

Kelancaran dan kesuksesan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan yang telah diberikan oleh berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini dengan segala hormat dan kerendahan hati, penulis menyampaikan terima kasih kepada

1. Ibu dan Bapak serta keluarga yang selalu memberikan dukungan sepenuh hati sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan tepat waktu.
2. Bapak Irfan Syarief Arief, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing dan kepala Lab MMD yang selalu memberikan pengarahan dan membagikan ilmu beliau kepada penulis.
3. Bapak Achmad Baidowi S.T., M.T. selaku dosen pembimbing kedua dan dosen di Lab MMD yang selalu memberikan nasehat kepada penulis baik di perkuliahan maupun di luar perkuliahan.
4. Bapak Ir. Amiadji M.Sc. selaku dosen wali atas nasihat yang telah diberikan kepada penulis.
5. Mas Riyan Bagus dan Mas Maful Suranto yang telah memberi masukan untuk memperlancar dalam penyelesaian skripsi ini.
6. Teman-teman Voyage 16' yang telah memberikan semangat dan berjuang bersama dalam pengerjaan skripsi.
7. Teknisi dan teman-teman lab MMD yang telah memberikan dukungan dalam penyelesaian skripsi ini.
8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Surabaya, 25 Juli 2020

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
BAB II	3
2.1 <i>State of The Art</i>	3
2.2 <i>Propeller</i>	4
2.3 <i>Skewed Propeller</i>	5
2.4 Karakteristik Performa <i>Propeller</i>	6
2.5 Kebisingan (<i>noise</i>) pada kapal	7
2.6 <i>Propeller Boss Cap Fins (PBCF)</i>	8
2.7 Hub Vortex	10
2.8 Parameter Desain <i>PBCF</i>	10
2.9 <i>Divergent Hub Cap</i>	12
2.10 Computational Fluid Dynamics (CFD)	12
BAB III	15
3.1 Alur Penelitian	15
BAB IV	43

4.1 Karakteristik Performa <i>Propeller</i> INSEAN E-1619	43
4.2 Analisa Performa <i>Propeller</i> INSEAN E-1619 dengan penambahan PBCF	44
4.2.1 Analisa Performa Variasi PBCF 01 (<i>Phase Lag</i> 0°).....	44
4.2.2 Analisa Performa Variasi PBCF 02 (<i>Phase Lag</i> 12.86°).....	45
4.2.3 Analisa Performa Variasi PBCF 03 (<i>Phase Lag</i> 25.72°).....	46
4.2.4 Analisa Performa Variasi PBCF 04 (<i>Phase Lag</i> 38.58°).....	47
4.3 Efek Penambahan PBCF terhadap Performa <i>Propeller</i> INSEAN E-1619	49
4.3.1 Efek Penambahan PBCF terhadap <i>Thrust</i>	49
4.3.2 Efek Penambahan PBCF terhadap Torsi.....	50
4.3.3 Efek Penambahan PBCF terhadap Efisiensi	51
4.4 Analisa Aliran pada <i>Propeller</i> INSEAN E-1619 Sebelum dan Sesudah Penambahan PBCF.....	52
BAB V	55
5.1 Kesimpulan.....	55
5.2 Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA.....	57
LAMPIRAN.....	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Bagian - Bagian Propeller	5
Gambar 2. 2 Aplikasi <i>skewed propeller</i> pada kapal selam	6
Gambar 2. 3 Kurva <i>Open Water Test Propeller B4 – 70</i>	6
Gambar 2. 4 Instalasi <i>PBCF</i>	9
Gambar 2. 5 Konsumsi bahan bakar dengan dan tanpa <i>PBCF</i>	9
Gambar 2. 6 Fenomena Aliran Pada <i>Propeller</i> tanpa <i>PBCF</i>	10
Gambar 2. 7 Fenomena Aliran Pada <i>Propeller</i> Setelah Penambahan <i>PBCF</i>	10
Gambar 2. 8 Definisi Parameter Desain <i>PBCF</i>	11
Gambar 2. 9 <i>Divergent Hub Cap</i>	12
Gambar 2. 10 Contoh Proses CFD	13
Gambar 3. 1 Alur Penelitian	15
Gambar 3. 2 Gambar 2 Dimensi INSEAN E-1619 <i>Submarine Propeller</i>	17
Gambar 3. 3 Permodelan 3 Dimensi INSEAN E-1619 <i>Submarine Propeller</i>	18
Gambar 3. 4 Hasil Pembuatan Domain	19
Gambar 3. 5 <i>Initial Mesh</i>	19
Gambar 3. 6 <i>Adapt to Geometry</i>	20
Gambar 3. 7 <i>Snap to Geometry</i>	21
Gambar 3. 8 <i>Optimize</i>	21
Gambar 3. 9 <i>Viscous Layers</i>	22
Gambar 3. 10 Hasil <i>Meshing</i>	22
Gambar 3. 11 <i>General Parameters</i>	27
Gambar 3. 12 <i>Fluid Model</i>	27
Gambar 3. 13 <i>Flow Model</i>	28
Gambar 3. 14 <i>Boundary Conditions</i>	28
Gambar 3. 15 <i>Body Definition</i>	29
Gambar 3. 16 <i>Body Motion</i>	29
Gambar 3. 17 <i>Mesh Management</i>	30
Gambar 3. 18 <i>Initial Solution</i>	31
Gambar 3. 19 <i>Control Variables</i>	31
Gambar 3. 20 <i>Output Parameters</i>	32
Gambar 3. 21 Grafik Validasi <i>Meshing</i>	33
Gambar 3. 22 <i>Maximum Reynolds Number NACA 16 Series</i>	37
Gambar 3. 23 Geometri NACA 16-006	38
Gambar 3. 24 Posisi sudut antar <i>PBCF</i>	39
Gambar 3. 25 <i>PBCF 01 (phase lag 0°)</i>	40
Gambar 3. 26 <i>PBCF 02 (phase lag 12.86°)</i>	41
Gambar 3. 27 <i>PBCF 03 (phase lag 25.72°)</i>	41
Gambar 3. 28 <i>PBCF 04 (phase lag 38.58°)</i>	42

Gambar 4. 1 Kurva Open Water Test Propeller INSEAN E-1619	44
Gambar 4. 2 Kurva Open Water Test PBCF 01	45
Gambar 4. 3 Kurva Open Water Test PBCF 02	46
Gambar 4. 4 Kurva Open Water Test PBCF 03	47
Gambar 4. 5 Kurva Open Water Test PBCF 04	48
Gambar 4. 6 Efek Variasi PBCF terhadap Thrust	49
Gambar 4. 7 Efek Variasi PBCF terhadap Torsi	50
Gambar 4. 8 Efek Variasi PBCF terhadap Efisiensi	51
Gambar 4. 9 Aliran pada Propeller INSEAN E-1619	52
Gambar 4. 10 Aliran pada Variasi PBCF 01	52
Gambar 4. 11 Aliran pada Variasi PBCF 02	53
Gambar 4. 12 Aliran pada Variasi PBCF 03	53
Gambar 4. 13 Aliran pada Variasi PBCF 04	54

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Parameter Desain <i>PBCF</i>	4
Tabel 3. 1 <i>Mesh Parameter</i> Variasi 1	23
Tabel 3. 2 <i>Mesh Parameter</i> Variasi 2	24
Tabel 3. 3 <i>Mesh Parameter</i> Variasi 3	25
Tabel 3. 4 Validasi <i>Meshing</i>	32
Tabel 3. 5 Hasil Variasi r/R <i>PBCF</i>	34
Tabel 3. 6 Hasil Variasi Rasio <i>STC PBCF</i>	35
Tabel 3. 7 Karakteristik <i>Salt Water</i>	36
Tabel 3. 8 Geometri <i>NACA 16-006</i>	37
Tabel 3. 9 Hasil Variasi sudut <i>rake PBCF</i>	38
Tabel 3. 10 Hasil Variasi Sudut <i>Pitch PBCF</i>	39
Tabel 3. 11 Variasi Desain <i>PBCF</i>	40
Tabel 4. 1 Variasi Koefisien <i>Advance</i>	43
Tabel 4. 2 Karakteristik Performa <i>INSEAN E-1619 Submarine Propeller</i>	43
Tabel 4. 3 Analisa Performa Variasi <i>PBCF 01</i>	44
Tabel 4. 4 Analisa Performa Variasi <i>PBCF 02</i>	45
Tabel 4. 5 Analisa Performa Variasi <i>PBCF 03</i>	46
Tabel 4. 6 Analisa Performa Variasi <i>PBCF 04</i>	47

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring berjalannya waktu teknologi yang membahas tentang sistem propulsi mengalami kemajuan yang cukup signifikan. Berbagai macam cara telah dilakukan untuk meningkatkan performa dari suatu *propeller* agar mendapatkan efisiensi terbaik sehingga dapat mengurangi konsumsi bahan bakar. Dengan berkurangnya konsumsi bahan bakar maka *operational cost* untuk mengoperasikan kapal juga akan berkurang. Selain itu, peningkatan efisiensi juga dapat mengurangi emisi karbon dioksida yang dihasilkan oleh *main engine*. *International Maritime Organization* (IMO) mencatat bahwa pada tahun 2013 dunia maritim menghasilkan emisi karbon dioksida sebesar 870 juta ton atau sekitar 2.7% dari emisi global.

Untuk meningkatkan efisiensi energi dari propeller diperlukan suatu komponen pendukung yaitu *energy saving device*. Salah satu *energy saving device* yang cukup populer adalah *Propeller Boss Cap Fins* (*PBCF*). Pada penelitian – penelitian sebelumnya membuktikan bahwa penambahan *PBCF* dapat meningkatkan efisiensi *propeller* hingga 7%. Penambahan *PBCF* juga mampu menurunkan kebisingan (*noise*) yang dihasilkan oleh *propeller* hingga 6 dB.

Penambahan efisiensi dari pemasangan *Propeller Boss Cap Fins* (*PBCF*) juga sangat berguna untuk kapal – kapal perang terutama kapal perang jenis kapal selam. Kapal selam secara umum menggunakan *propeller* berjenis *skewed propeller* dan propulsi elektrik yang menggunakan baterai sebagai penyimpanan daya utama. Dengan meningkatnya efisiensi maka penggunaan daya baterai akan lebih hemat. Sehingga, kapal selam dapat menyelam di dalam air lebih lama tanpa harus sering naik ke permukaan untuk melakukan *recharge* daya baterai.

Namun, sampai saat ini belum ada penelitian secara khusus yang menganalisa pengaruh dari pemasangan *PBCF* terhadap performa yang dihasilkan oleh *skewed propeller*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh pemasangan *propeller boss cap fins* pada *skewed propeller* dengan variasi sudut *phase lag* terhadap gaya dorong, torsi, dan efisiensi yang dihasilkan ?
2. Bagaimana aliran fluida yang dihasilkan sebelum dan sesudah pemasangan *propeller boss cap fins* pada *skewed propeller*?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan lingkup permasalahan yang akan diteliti, maka dibuatlah beberapa batasan masalah seperti di bawah ini :

1. *Propeller* yang digunakan adalah model INSEAN E-1619 *submarine propeller*.
2. Jenis foil yang digunakan adalah NACA *Airfoil Series*.
2. Hanya menganalisa variasi sudut *phase lag PBCF*, dengan parameter – parameter desain yang lain mengikuti saran dari penelitian – penelitian sebelumnya.
3. Analisa dilakukan pada keadaan *open water test*.
4. Pada penelitian ini tidak mempertimbangkan analisa kekuatan material dan kebisingan dari propeller.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui pengaruh pemasangan *propeller boss cap fins* pada *skewed propeller* dengan variasi sudut *phase lag* terhadap gaya dorong, torsi, dan efisiensi yang dihasilkan
2. Untuk mengetahui aliran fluida yang dihasilkan sebelum dan sesudah pemasangan *propeller boss cap fins* pada *skewed propeller*

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan tentang efek dari penambahan *propeller boss cap fins* pada *skewed propeller* terhadap performa seperti gaya dorong, torsi, efisiensi serta aliran fluida yang dihasilkan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 State of The Art

Bagian ini akan membahas tentang penelitian - penelitian yang dapat dijadikan latar belakang serta menjadi literatur pada penelitian ini.

2.1.1 Analisa Pengaruh Perubahan Span To Chord Ratio Propeller Boss Cap Fins Pada Propeller Wageningen Series C4-40 Dengan Metode CFD

Penelitian ini membahas tentang penggunaan *Propeller Boss Cap Fins* untuk meminimalkan konsumsi bahan bakar. *Propeller Boss Cap Fins* adalah salah satu usaha peningkatan efisiensi, khususnya dalam bidang propulsi kapal. *Propeller Boss Cap Fins* atau biasa disebut PBCF adalah salah satu teknologi yang menggantikan teknologi *boss cap propeller* yang terlebih dahulu ada. Peningkatan efisiensi tentunya dapat berdampak pada konsumsi bahan bakar. Penelitian ini menjabarkan mengenai perubahan efisiensi, gaya dorong, torsi dan fenomena aliran pada *propeller* setelah perubahan *span to chord fins* dengan bentuk *fin* berupa *NACA foil*.

Penelitian ini diawali dengan menentukan dimensi *propeller* beserta modelnya. Langkah selanjutnya adalah perancangan dan penggambaran *propeller boss cap fins* dengan memodifikasi *span to chord ratio fin* tersebut. Langkah terakhir adalah menganalisa performa *propeller* dengan software berbasis *computation fluid dynamic*. Dari perubahan *span to chord ratio* PBCF diyakini bahwa dapat meningkatkan efisiensi, daya dorong, torsi *propeller*, serta meminimalkan *hub vortex*. Simulasi dilakukan pada empat variasi *span to chord ratio* PBCF, yakni 0.17, 0.23, 0.29, dan 0.34.

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa *propeller boss cap fins* dapat meningkatkan *thrust* hingga 4.55 %, *torque* hingga 1.07 %, dan efisiensi hingga 3.49%, namun *perubahan span to chord ratio* PBCF tidak berpengaruh banyak terhadap perubahan *thrust*, *torque*, dan efisiensi *propeller*. Selain itu, memperbesar *span to chord ratio* PBCF dapat mengurangi *hub vortex* pada *propeller*. (Fikry, 2019)

2.1.2 Analisa Pengaruh Penambahan Boss Cap Fins pada Propeller B-Series dengan Pendekatan Metode CFD

Penelitian ini membahas analisa pengaruh penambahan *Propeller Boss Cap Fins* (PBCF) sebagai *Energy Saving Device* (ESD) yang bertujuan untuk mengurangi biaya operasional serta untuk menghasilkan energi yang lebih bersih. Penelitian dilakukan pada Propeller tipe B4-85 dengan diameter sebesar 3,262 m dan kecepatan sebesar 210 RPM.

Penelitian ini dimulai dengan menggunakan *software* CAD guna memperoleh geometri yang solid untuk dianalisa menggunakan *Computational Fluid Dynamic* (CFD). Selanjutnya dilakukan simulasi untuk melihat aliran fluida dari propeller. Kemudian

dibuatlah model PBCF dengan variasi *pitch angle* sebesar 55°, 60°, 65°, 70°, 75° menggunakan *software* CAD. Tahap berikutnya adalah melakukan simulasi aliran fluida, torsi serta daya dorong setelah adanya penambahan PBCF pada propeller. Simulasi ini menggunakan *software* CFD.

Hasil simulasi PBCF pada *pitch angle* sebesar 65° dapat meningkatkan performa efisiensi propeller hingga 0,65%, gaya dorong sebesar 2,69% dan torsi sebesar 2,07% jika dibandingkan dengan propeller tanpa PBCF. Hal yang menjadi kekurangan penelitian ini adalah penambahan PBCF dapat merusak aliran *hub vortex*, mengurangi *porosity* propeller serta mampu mengakibatkan korosi pada *rudder*. (Oloan, 2018)

2.1.3 Studi Parametris Terhadap Propeller Boss Cap Fins (PBCF) pada Kapal Kontainer

Studi ini menguji parameter desain dari Propeller Boss Cap Fins (PBCF) dan hub cap pada kapal kontainer 6000 TEU untuk meningkatkan efisiensi propulsi. Pada penelitian ini dilakukan dua pengujian yakni dengan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD) dan metode Propeller Open Water Test (POW). POW digunakan untuk validasi hasil simulasi CFD.

Parameter desain yang digunakan untuk meneliti PBCF dalam studi ini tertera pada tabel berikut pada *advance ratio* (J) sebesar 0,5 dan 0,6:

Tabel 2. 1 Parameter Desain PBCF

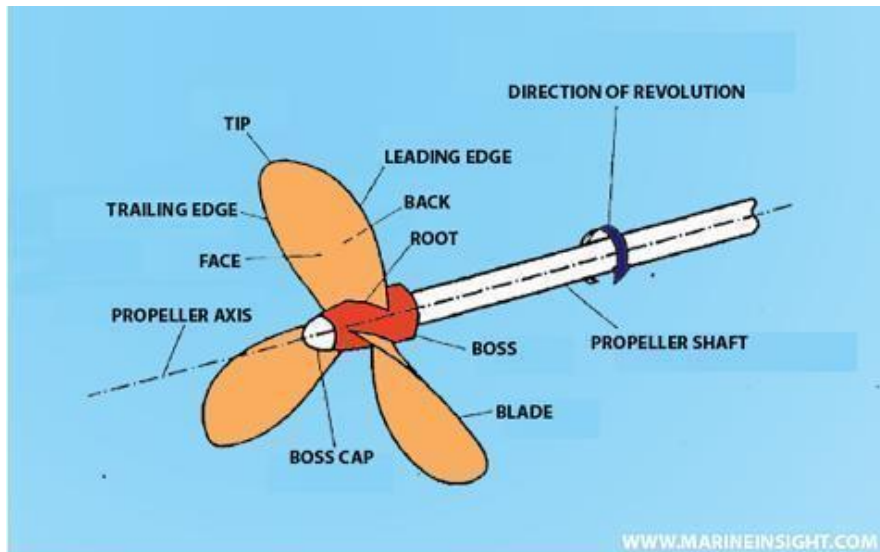
Level	Installation angle (α)	r/R
1	71.5°	0.28R
2	66.5°	0.29R
3	61.5°	0.31R

(Sumber : Lim, 2014)

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa *pitch* dan *span to chord ratio* berpengaruh terhadap efisiensi propeller. PBCF dengan *installation angle* sebesar 66.5° dengan rasio r/R sebesar 0,31 pada *inclination angle* sebesar -10° memiliki hasil efisiensi yang paling tinggi, yakni pada (J) 0,5 sebesar 0,4888 dan pada (J) 0,6 sebesar 0,5561. (Lim, et al., 2014)

2.2 Propeller

Propeller merupakan salah satu bagian dari sistem propulsi yang ada di kapal. *propeller* merupakan alat yang digunakan untuk mengkonversi daya yang dihasilkan *main engine* yang berupa gerak rotasi menjadi gaya dorong atau *thrust* yang membuat kapal bergerak ke depan.



Gambar 2. 1 Bagian - Bagian Propeller
(Sumber : www.marineinsight.com)

Pada kondisi pengoperasian normal, *propeller* akan berotasi searah jarum jam jika dilihat dari arah buritan kapal. Bagian tepi dari daun *propeller* bagian depan disebut *leading edge* , sedangkan sisi sebaliknya disebut *trailing edge*. Permukaan daun *propeller* yang terlihat dari sisi belakang disebut *face*, sedangkan dari depan disebut *back*. (Kuiper, 1992)

Dalam kasus tertentu suatu kapal akan dirancang menggunakan jenis *propeller* lain dengan harapan dapat meningkatkan performa. Sampai saat ini jenis – jenis *propeller* dibedakan menjadi 11 jenis yaitu *Fixed Pitch Propeller (FPP)*, *Controlable Pitch Propeller (CPP)*, *Contracted Loaded Tip (CLT) Propeller*, *Contra Rotating Propeller (CRP)* *Ducted Propeller*, *Propeller Boss Cap Fins (PBCF)*, *Adjustable Bolted Propeller (ABP)*, *High Skew Propeller*, *Keyless Propeller*, *Solid Propeller*, *Surface Piercing Propeller*. (Oloan, 2018)

2.3 Skewed Propeller

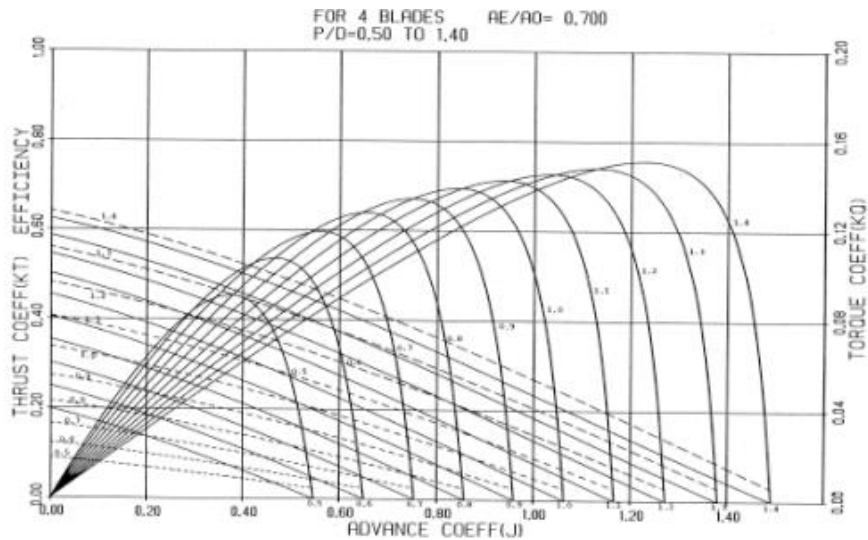
Skewed Propeller atau juga biasa disebut dengan *High Skew Propeller* adalah *propeller* yang memiliki sudut *skew* lebih dari 25 derajat. Pada umumnya, *propeller* jenis ini diaplikasikan pada kapal – kapal yang membutuhkan *noise* serendah mungkin seperti contoh kapal selam agar keberadaannya tidak mudah terdeteksi oleh musuh. Karena *propeller* jenis ini mampu mengurangi *noise* hingga 48 % jika dibandingkan dengan konvensional *propeller*. (Chekab, et al., 2013)



Gambar 2. 2 Aplikasi skewed *propeller* pada kapal selam
(sumber : <https://medium.com/>)

2.4 Karakteristik Performa *Propeller*

Karakteristik performa *propeller* pada dasarnya dapat dilihat dari 3 komponen yaitu K_T (Koefisien *Thrust*), K_Q (Koefisien *Torque*), dan η_o (Efisiensi *Propeller*) pada setiap variasi J (Koefisien *Advance*). Untuk mendapatkan nilai – nilai tersebut perlu dilakukan *Open Water Test* terlebih dahulu.



Gambar 2. 3 Kurva *Open Water Test Propeller* B4 – 70
Sumber : (Kuiper, 1992)

Untuk mendapatkan persamaan nilai – nilai diatas, dapat digunakan beberapa persamaan seperti berikut (Carlton, 2007) :

1. Koefisien *Thrust*

$$KT = \frac{T_{prop}}{\rho \times n^2 \times D^4} \quad (1)$$

2. Koefisien *Torque*

$$KQ = \frac{Q_{prop}}{\rho \times n^2 \times D^5} \quad (2)$$

3. Koefisien *Advance Propeller*

$$J = \frac{V_A}{n \times D} \quad (3)$$

4. *Efficiency Propeller Open Water*
Efficiency propeller open water adalah adalah rasio perbandingan antara *thrust horsepower* (THP) dan *delivered horsepower* (DHP).

Dimana,

$$THP = T \times V_a \quad (4)$$

$$DHP = 2 \times \pi \times n \times Q \quad (5)$$

Sehingga, dari persamaan (4) dan (5) didapatkan nilai

$$\eta_0 = \frac{T \times V_a}{2 \times \pi \times n \times Q} \quad (6)$$

2.5 Kebisingan (*noise*) pada kapal

Kebisingan (*noise*) adalah bunyi yang tidak diinginkan dari usaha atau kegiatan dalam tingkat dan waktu tertentu yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan. Noise biasa dinyatakan dalam satuan decibel (dB). Kebisingan pada kapal dengan intensitas yang tinggi juga menyebabkan dampak serius terhadap anak buah kapal (ABK) ataupun penumpang yang berada di kapal. Maka dari itu perlu adanya upaya peredaman kebisingan agar didapatkan lingkungan yang sehat. (Yudo & Jokosisworo, 2012)

Salah satu parameter terpenting dalam mendesain sistem propulsi laut adalah kebisingan akustik karena osilasi tekanan dalam air yang mengelilingi baling-baling.

Banyak upaya telah dilakukan untuk meminimalkan kebisingan akustik yang dihasilkan oleh sistem propulsi yang merupakan sumber utama perambatan kebisingan dari kapal.

Di sisi lain, kebisingan yang diperbanyak dari kapal komersial dapat mengganggu ekolokasi alami atau sistem biosonar paus dan lumba – lumba yang mereka gunakan untuk menemukan predator dan mangsa. Hal ini dapat membingungkan mereka dan mengganggu fungsi biologis dasar mereka seperti memberi makan dan berkembang biak (Chekab, et al., 2013)

Kebisingan juga cukup penting untuk kapal – kapal perang seperti kapal selam. Dimana dibutuhkan kebisingan seminimal mungkin agar posisinya tidak mudah dilacak oleh sistem radar musuh. Kebisingan pada kapal selam dapat diklasifikasikan menjadi 4 klasifikasi seperti berikut :

1. “ *Very Quiet* ” Submarine < 100 dB
2. “ *Quiet* ” Submarine 100 – 120 dB
3. “ *Noise* ” Submarine 120 – 140 dB
4. “ *Very Noise* ” Submarine > 140 dB

(Miasnikov, 1998)

2.6 Propeller Boss Cap Fins (PBCF)

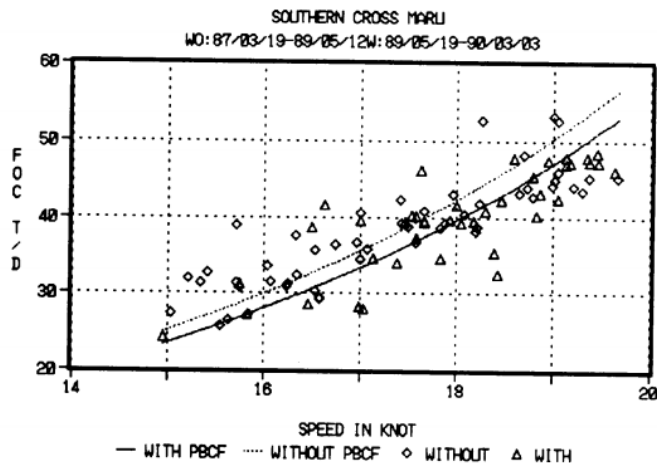
Propeller boss can fin merupakan suatu teknologi yang dikembangkan oleh Mitsui OSK. Terdiri dari baling-baling pendek yang dipasangkan pada boss *propeller* yang dapat mengubah energi dari hub vortex menjadi tambahan gaya dorong dan pengurangan torsi yang ditransmisikan ke poros. Pengurangan dari vortex yang dihasilkan *propeller* hub dapat berdampak pada getaran *stern* rendah dan kebisingan baling-baling yang rendah. Dapat juga mengurangi masalah erosi pada daun kemudi. (Oloan, 2018)

Penambahan *Propeller boss can fin* pada *propeller* konvensional dapat meningkatkan efisiensi propeller hingga 7 % dan mengurangi *noise* hingga 6 dB. (Chekab, et al., 2013)



Gambar 2. 4 Instalasi *PBCF*
(Sumber : Chekab, et al., 2013)

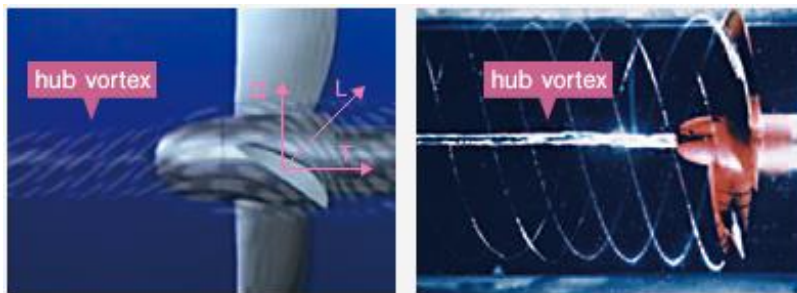
Penambahan *PBCF* pada *propeller* tentunya juga akan berdampak pada konsumsi bahan bakar kapal. Pada gambar 2.5 diambil dari data harian kapal dengan rute dan musim yang sama, kecepatan angin 8 m / s, dan tinggi gelombang 3 m atau lebih. Dari gambar 2.5, dapat dilihat bahwa penambahan *PBCF* dapat mengurangi konsumsi bahan bakar kapal. (Ouchi, et al., 1988)



Gambar 2. 5 Konsumsi bahan bakar dengan dan tanpa *PBCF*
(sumber : Ouchi, et al., 1988)

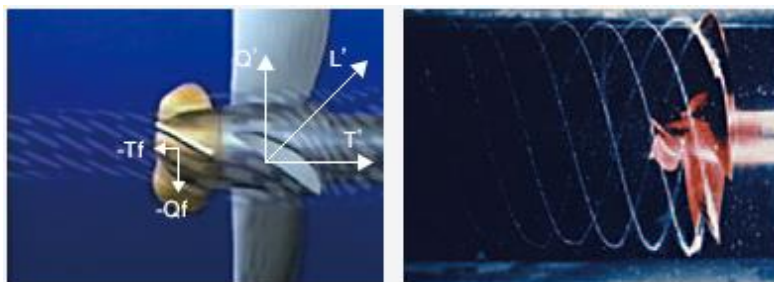
2.7 Hub Vortex

Hub vortex pada *propeller* memiliki tekanan rendah yang kuat pada inti tengahnya. Tekanan rendah pada inti tersebut menyebabkan menurunnya *thrust*. Perbedaan kecepatan aliran antara atas dan bawah surface daun *propeller* menghasilkan aliran ke bawah yang kuat dari trailing edge pada daun *propeller*. Kombinasi aliran ke bawah pada setiap daun akan menjadi hub vortex yang kuat. Sekitar 10% energy hilang oleh hub vortex ini. (MOL Techno-Trade, 2018)



Gambar 2. 6 Fenomena Aliran Pada *Propeller* tanpa PBCF
(sumber : MOL Techno-Trade, 2018)

Aliran ke bawah yang kuat dari ujung trailing edge *propeller* akan diperbaiki oleh *fin* PBCF untuk memanfaatkan kembali komponen yang dapat diputar, sehingga *fin* akan menghasilkan gaya (Q_f) yang mengurangi torsi (Q) poros *propeller* sebesar 3% dan lebih banyak. Selain itu, daya dorong akan meningkat lebih dari 1%. (MOL Techno-Trade, 2018)

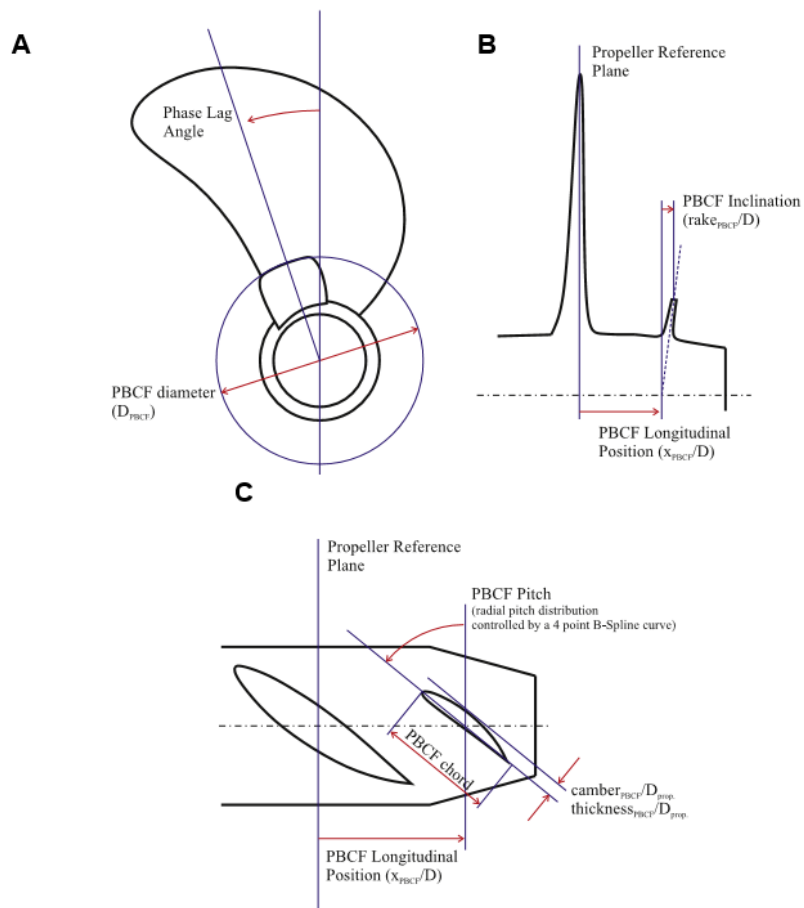


Gambar 2. 7 Fenomena Aliran Pada *Propeller* Setelah Penambahan PBCF
(sumber : MOL Techno-Trade, 2018)

2.8 Parameter Desain PBCF

Berdasarkan analisa yang dihasilkan pada desain parameter PBCF melalui open water *propeller* efficiency dengan experimental tes dan analisa berbasis CFD, maka parameter desain PBCF adalah sebagai berikut :

1. Jumlah fin
2. Rasio radius PBCF terhadap *propeller* (r/R)
3. *Longitudinal Position* (x_{PBCF})
4. *Chord* PBCF
5. Sudut *rake* PBCF (*Inclination angle*)
6. Sudut *pitch* (*Installation angle*)
7. Sudut *phase lag*

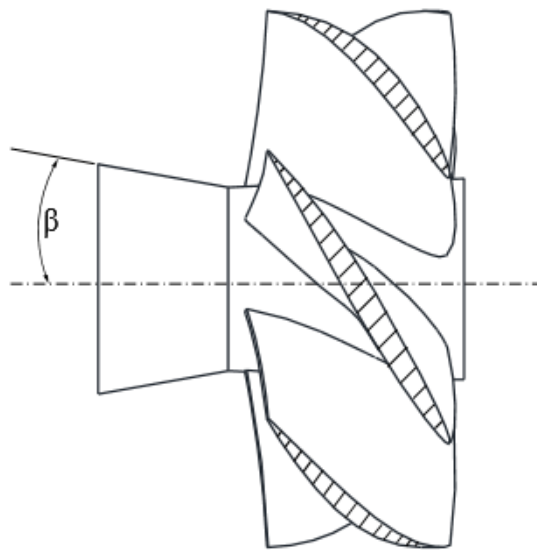


Gambar 2. 8 Definisi Parameter Desain PBCF
Sumber : (Gaggero, 2018)

2.9 Divergent Hub Cap

Divergent hub cap merupakan *hub cap* dengan penambahan sudut di sisi terluar bagian *hub cap*. *Divergent hub cap* mampu mereduksi *hub vortex* yang dihasilkan *propeller* jika dibandingkan dengan normal *hub cap* maupun *convergent hub cap*.

Seop Lim pada penelitiannya juga mengkombinasikan penambahan PBCF dengan sudut *divergent hub cap*. Untuk menentukan sudut dari *divergent hub cap* memiliki batasan dimana rasio radius hub dan propeller pada ujung *hub cap* tidak boleh melebihi $0.2R_{propeller}$. Pada penelitian ini memvariasikan sudut *divergent hub cap* 6° , 8° , 10° . Dari penelitian ini disimpulkan bahwa sudut 8° memiliki hasil yang paling efisien dengan penambahan efisiensi hingga 2.1% jika dibandingkan normal *hub cap* (Lim, et al., 2014).



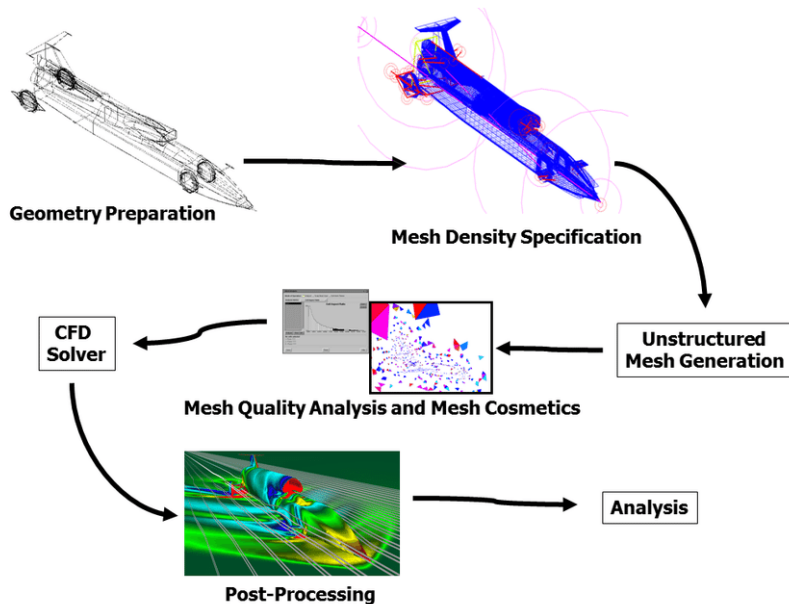
Gambar 2. 9 *Divergent Hub Cap*
Sumber : (Lim, et al., 2014)

2.10 Computational Fluid Dynamics (CFD)

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan salah satu cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisa permasalahan yang berhubungan dengan aliran fluida. Tujuan dari CFD adalah untuk memprediksi secara akurat tentang aliran fluida, perpindahan panas, dan reaksi kimia dalam sistem yang kompleks, yang melibatkan satu atau semua fenomena di atas.

Aplikasi dari CFD untuk penyelesaian masalah aliran pada *propeller* telah mengalami kemajuan cukup pesat pada akhir-akhir ini. Bahkan pada saat ini teknik CFD merupakan bagian dari proses desain dalam diagram spiral perancangan.

Proses CFD dibagi menjadi tiga, yakni pre-processing, computation, dan post-processing. Pre-processing adalah tahapan input data yang meliputi penentuan domain dan boundary condition. Pada tahapan ini juga dilakukan meshing, dimana benda yang dianalisa dibagi dalam jumlah grid tertentu. Computation atau processing adalah proses perhitungan data yang telah dimasukkan menggunakan persamaan terkait secara iterative hingga hasil yang didapatkan bisa mencapai nilai error terkecil. Post-processing adalah hasil dari perhitungan pada tahap processor akan ditampilkan dalam gambar, grafik maupun animasi. (Nanda, 2019)



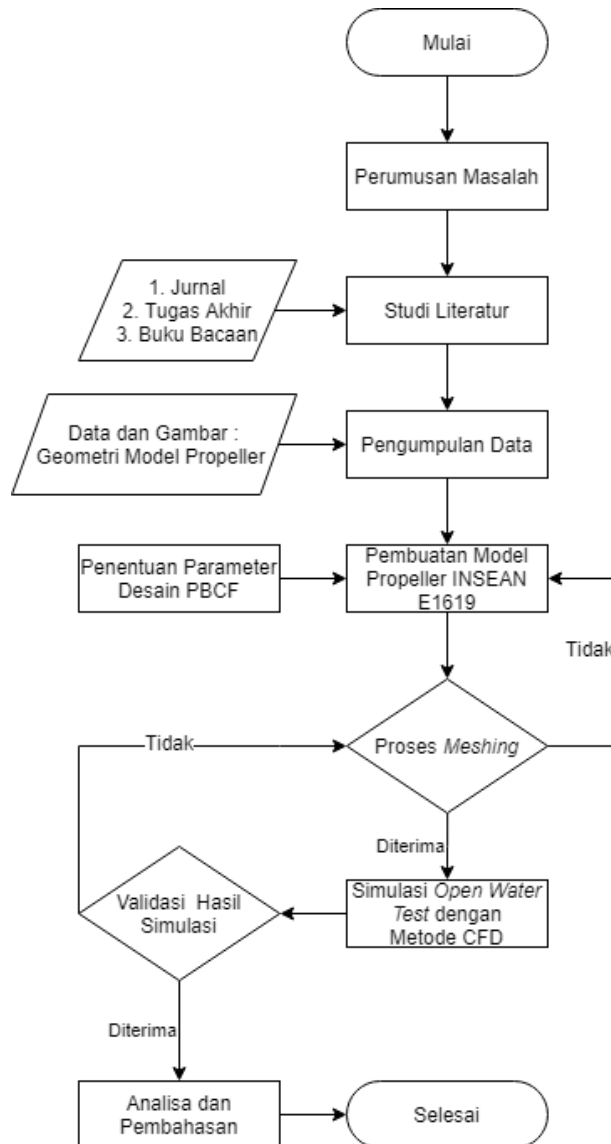
Gambar 2. 10 Contoh Proses CFD
Sumber : (Nanda, 2019)

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Dalam pengerjaan penelitian ini menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics (CFD)* dengan langkah – langkah berdasarkan *flowchart* seperti berikut :



Gambar 3. 1 Alur Penelitian

Berikut merupakan penjelasan dari *flowchart* diatas :

1. Perumusan Masalah

Perumusan masalah merupakan tahap awal dalam pengerjaan skripsi ini. Perumusan masalah dilakukan dengan cara menentukan topik yang akan dibahas pada skripsi ini. Penulis menentukan bahasan tentang *Propeller Boss Cap Fin (PBCF)* pada *Skewed Propeller* dikarenakan *PBCF* cukup efektif dalam meningkatkan performa dan mengurangi noise yang dihasilkan suatu *propeller*. Pada proses ini dispesifikkan lagi menjadi sebuah rumusan masalah tentang analisa pengaruh variasi sudut *phase lag* dari *PBCF* pada *Skewed Propeller* terhadap performa dan aliran yang dihasilkan. Variasi sudut *phase lag* dipilih dikarenakan belum adanya penelitian yang membahas secara khusus tentang berapa sudut *phase lag* yang optimal dari *PBCF* terhadap *Skewed Propeller*, sehingga mampu meningkatkan performa dan memperbaiki aliran dari suatu *propeller*.

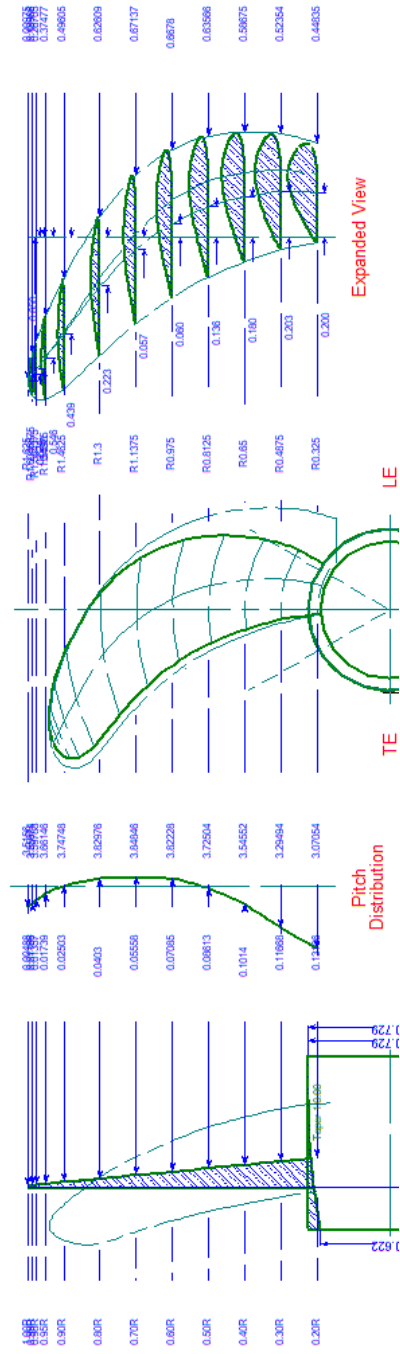
2. Studi Literatur

Studi Literatur dilakukan untuk memperdalam pemahaman penulis tentang permasalahan yang akan dibahas. Studi literatur ini dapat bersumber dari buku bacaan, jurnal, serta skripsi yang sebelumnya membahas topik yang sama. Studi literatur diharapkan juga dapat menunjang landasan dasar dari pengerjaan skripsi ini, dimulai dari pembahasan umum tentang *propeller* sampai dengan secara khusus tentang topik yang akan diangkat yaitu *PBCF*.

3. Pengumpulan Data

Pada tahap ini merupakan pengambilan data dan gambar dari suatu objek yang akan diteliti. Pada penelitian ini digunakan model *propeller* yang sudah diteliti sebelumnya yaitu INSEAN E-1619 *Submarine Propeller*. Berikut adalah data dan gambar dari *propeller* INSEAN E-1619 (Burunsuz, et al., 2017) :

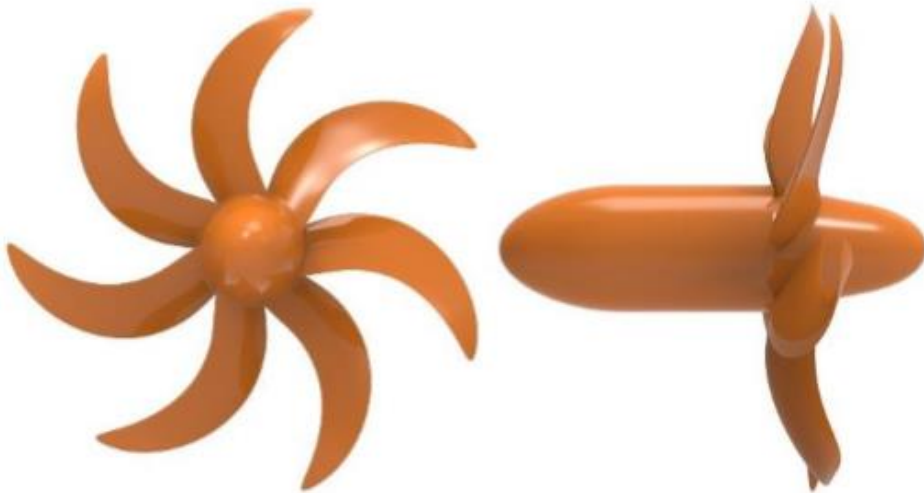
- Diameter : 3250 mm
- Jumlah baling : 7
- *Expanded blade area ratio* (A_e/A_0) : 0.608
- *Hub/Diameter ratio* : 0.226
- P/D pada 0.7R : 1.15



Gambar 3.2 Gambar 2 Dimensi INSEAN E-1619
Submarine Propeller

4. Pembuatan Model *Propeller*

Pada proses ini dilakukan permodelan 3 dimensi dari bentuk model INSEAN E-1619 *Submarine Propeller* dari data dan gambar 2 dimensi yang sudah ada. Pada proses permodelan ini menggunakan *software* Rhinoceros. Berikutnya, model 3 dimensi tersebut disimpan dengan format file parasolid (.x_t) sebagai syarat untuk proses *CFD* di *software* Numeca.



Gambar 3. 3 Permodelan 3 Dimensi INSEAN E-1619 *Submarine Propeller*

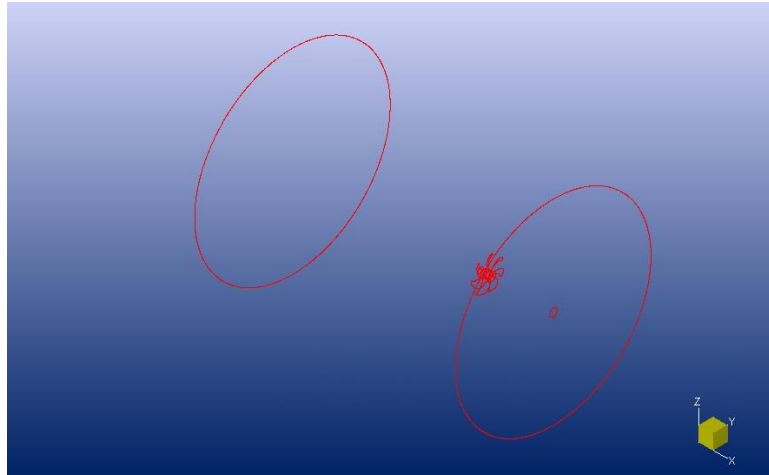
Sumber : Dokumen Pribadi

5. Proses *Meshing*

Proses *meshing* merupakan proses identifikasi suatu objek yang didefinisikan sebagai blok – blok kecil atau biasa dikenal dengan istilah *cell*. Pada proses ini dibantu dengan *software* Numeca Hexpress. Semakin banyak dan semakin rapat ukuran *cell* maka hasil dari simulasi cenderung lebih valid. Namun waktu yang dibutuhkan untuk simulasi cenderung lebih lama. Berikut adalah tahapan proses *Meshing* :

a. Pembuatan Domain

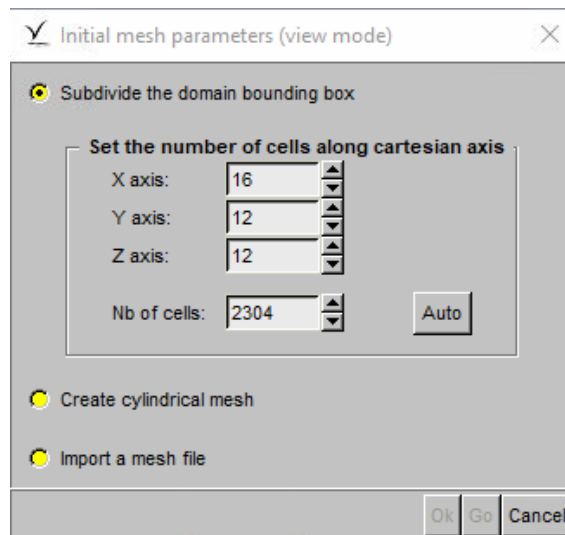
Pada tahap ini, diawali dengan memilih menu “*Using C-Wizard – Open Water*”.Setelah itu, input model 3 dimensi *propeller* yang telah dibuat dengan format file parasolid (.x_t) dan masukkan beberapa data pendukung *open water test* seperti putaran propeller (rpm) dan kecepatan aliran fluida (V_a).



Gambar 3. 4 Hasil Pembuatan Domain
Sumber : Dokumen Pribadi

b. *Initial Mesh*

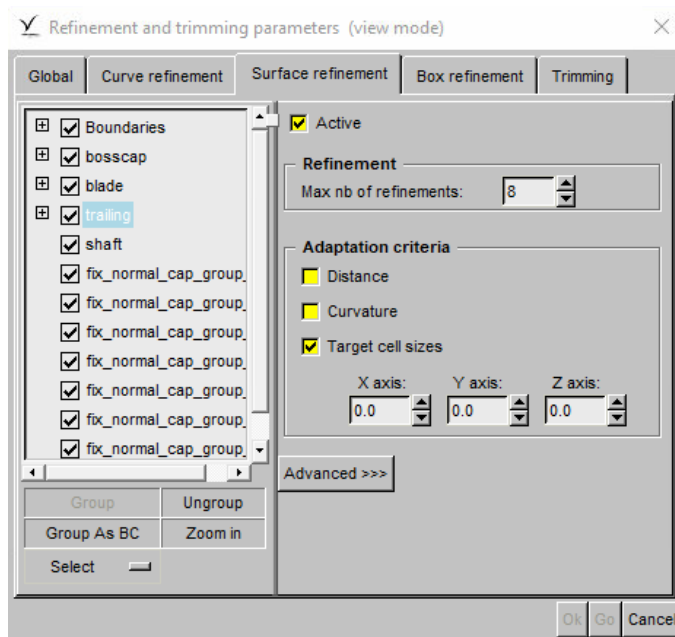
Pada tahap ini dilakukan penentuan jumlah *cell* awal geometri seluruh domain menjadi berbentuk kotak – kotak kecil sesuai dengan sumbu x, y, z.



Gambar 3. 5 *Initial Mesh*
Sumber : Dokumen Pribadi

c. *Adapt to Geometry*

Pada tahap ini dilakukan proses *refinement* dengan mendetailkan *cell – cell* menjadi bagian yang lebih kecil sesuai dengan bentuk geometri bentuk domain. Ada beberapa pilihan *refinement* yang dapat diatur seperti *Global*, *Curve*, *surface* dan *Box*.

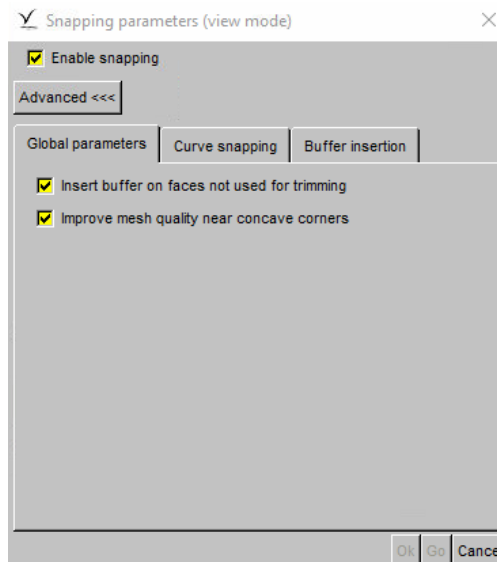


Gambar 3. 6 *Adapt to Geometry*

Sumber : Dokumen Pribadi

d. *Snap to Geometry*

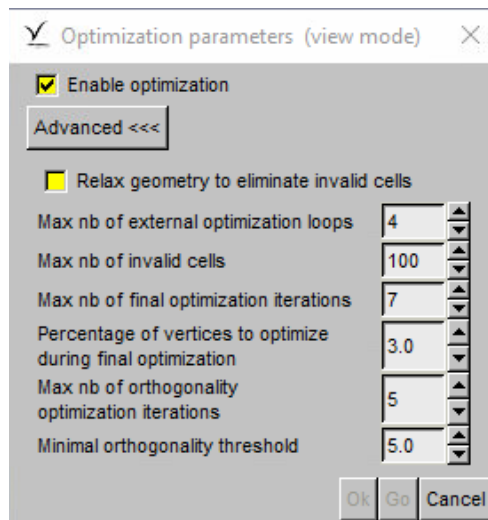
Tahap ini digunakan untuk *snapping* atau memproyeksikan bentuk *cell – cell* yang masih kotak menjadi bentuk yang lebih detail dan lebih halus. Sehingga kumpulan bentuk – bentuk *cell* akan semakin menyerupai bentuk asli model.



Gambar 3. 7 *Snap to Geometry*
Sumber : Dokumen Pribadi

e. *Optimize*

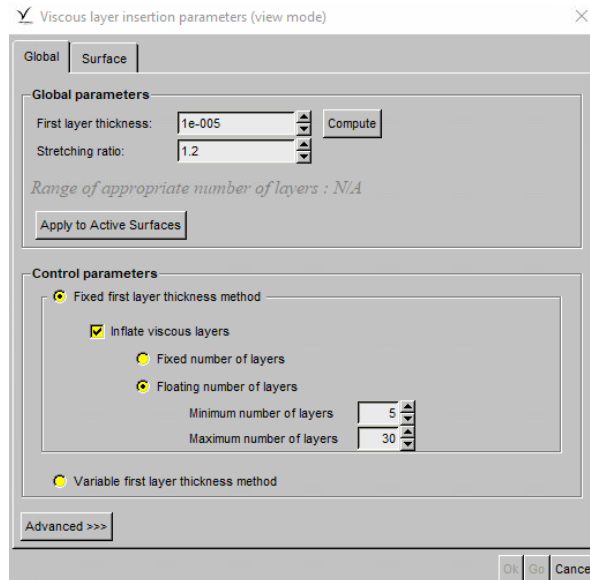
Pada tahap ini dilakukan optimisasi terhadap hasil *mesh* yang memiliki kualitas buruk seperti *concave cells*, *negative cells*, *twisted cells*. Untuk mengetahui kualitas dari *cell* dapat dilihat dengan menu *mesh quality*.



Gambar 3. 8 *Optimize*
Sumber : Dokumen Pribadi

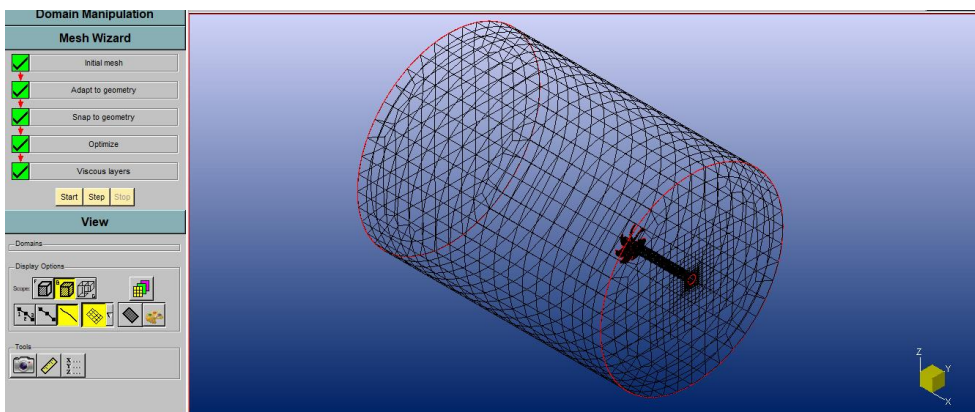
f. Viscous layers

Pada *Viscous Layers*, dilakukan pendekatan yang spesifik dalam penyisipan lapisan viskos berdasarkan kecepatan sehingga dihasilkan *Reynolds Number* dan *Froude Number* yang dipengaruhi kecepatan dan ukuran *propeller*.



Gambar 3. 9 *Viscous Layers*
Sumber : Dokumen Pribadi

Proses *Meshing* akan dianggap berhasil jika seluruh rangkaian proses sudah selesai atau ditandai dengan centang berwarna hijau.



Gambar 3. 10 Hasil *Meshing*
Sumber : Dokumen Pribadi

Agar dapat dilakukan validasi hasil, maka digunakan 3 variasi jumlah *cell* pada saat proses *meshing*. Berikut adalah variasi jumlah *cell* serta pengaturan di setiap tahapan *mesh* :

a. Variasi 1 (2.4 Juta *Cell*)

Tabel 3. 1 *Mesh Parameter Variasi 1*

Menu	Submenu	Geometry	Parameters	
Initial mesh			4500 cells	
Adapt to geometry	Global		Maximum number of refinements: 12	
	Curve refinement	none	none	
	Surface refinement	Shaft*		Maximum number of refinements: 4 Target cell size: (0.041,0.02,0.02) Refinement diffusion: Global
		Bosscap*		Maximum number of refinements: 7 Target cell size: (0,0,0) Refinement diffusion: Global
		Blade*		Maximum number of refinements: 7 Target cell size: (0,0,0) Refinement diffusion: Global
		Trailing_edge*		Maximum number of refinements: 8 Target cell size: (0,0,0) Refinement diffusion: Global
		Hub*		Maximum number of refinements: 7 Target cell size: (0,0,0) Refinement diffusion: Global
	Box refinement	Sector #0		Maximum number of refinements: 8 Target cell size: (0.162,0.162,0.162) Volumic (activated) Refinement diffusion: 2
Trimming			xmin (EXT) and xmax (EXT) not used for trimming propeller (SOL) used for trimming	
Snap to geometry			Enable snapping (activated) Insert buffer (activated) Improve mesh quality (activated)	
Optimize			Enable of optimization (activated) Relax geometry (not activated)	
Viscous layer			Viscous layers are defined and computed for Solid boundaries only	

			<p>and are deactivated for tip and trailing edge.</p> <p>Fixed first layer thickness Method</p> <p>Floating number of layers: Minimum number of layers = 4 Maximum number of layers = 8</p> <p>Active with First layer thickness <1.523e-04></p> <p>Blade: 6 layers</p>
--	--	--	---

b. Variasi 2 (1.8 Juta Cell)

Tabel 3. 2 Mesh Parameter Variasi 2

Menu	Submenu	Geometry	Parameters
Initial mesh			2304 cells
Adapt to geometry	Global		Maximum number of refinements: 12
	Curve refinement	none	none
	Surface refinement	Shaft*	Maximum number of refinements: 4 Target cell size: (0.041,0.02,0.02) Refinement diffusion: Global
		Bosscap*	Maximum number of refinements: 8 Target cell size: (0,0,0) Refinement diffusion: Global
		Blade*	Maximum number of refinements: 7 Target cell size: (0,0,0) Refinement diffusion: Global
		Trailing_edge*	Maximum number of refinements: 8 Target cell size: (0,0,0) Refinement diffusion: Global
		Hub*	Maximum number of refinements: 7 Target cell size: (0,0,0) Refinement diffusion: Global
	Box refinement	Sector #0	Maximum number of refinements: 8 Target cell size: (0.162,0.162,0.162) Volumic (activated) Refinement diffusion: 2
Trimming		xmin (EXT) and xmax (EXT) not used for trimming propeller (SOL) used for trimming	

Snap to geometry			Enable snapping (activated) Insert buffer (activated) Improve mesh quality (activated)
Optimize			Enable of optimization (activated) Relax geometry (not activated)
Viscous layer			Viscous layers are defined and computed for Solid boundaries only and are deactivated for tip and trailing edge. Fixed first layer thickness Method Floating number of layers: Minimum number of layers = 4 Maximum number of layers = 8 Active with First layer thickness <1.523e-04> Blade: 6 layers

c. Variasi 3 (1 Juta Cell)

Tabel 3. 3 Mesh Parameter Variasi 3

Menu	Submenu	Geometry	Parameters
Initial mesh			2304 cells
Adapt to geometry	Global		Maximum number of refinements: 12
	Curve refinement	none	none
	Surface refinement	Trailing_edge*	Maximum number of refinements: 8 Target cell size: (0,0,0) Refinement diffusion: Global
	Box refinement	Sector #0	Maximum number of refinements: 8 Target cell size: (0.162,0.162,0.162) Volumic (activated) Refinement diffusion: 2
	Trimming		xmin (EXT) and xmax (EXT) not used for trimming propeller (SOL) used for trimming
Snap to geometry			Enable snapping (activated) Insert buffer (activated) Improve mesh quality (activated)
Optimize			Enable of optimization (activated) Relax geometry (not activated)

Viscous layer			<p>Viscous layers are defined and computed for Solid boundaries only and are deactivated for tip and trailing edge.</p> <p>Fixed first layer thickness Method Floating number of layers: Minimum number of layers = 4 Maximum number of layers = 8 Active with First layer thickness <1.523e-04> Blade: 6 layers</p>
---------------	--	--	---

6. Simulasi *Open Water Test* dengan *CFD*

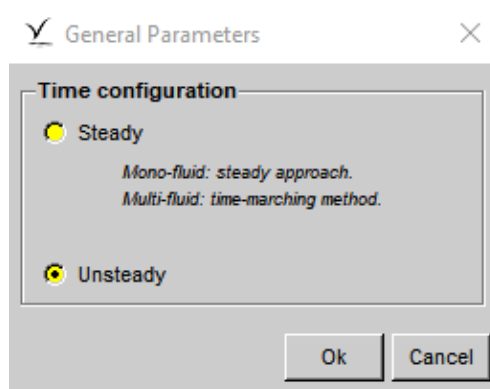
Pada proses ini dilakukan simulasi *open water test* untuk setiap variasi model *propeller* menggunakan *software* Numeca FINEMarine. Hal ini digunakan untuk mengetahui karakteristik performa dari setiap variasi model *propeller* seperti nilai *thrust* dan *torque* yang dihasilkan disetiap variasi J (*advance ratio*). Berikut adalah beberapa parameter yang harus diatur :

a. *General Parameters*

Parameter ini merupakan konfigurasi waktu dari hasil simulasi ketika menentukan *time step*. Konfigurasi *steady* digunakan ketika pengambilan hasil simulasi diambil pada saat *time step* terakhir simulasi. Konfigurasi *steady* menganggap perubahan properti fluida konstan terhadap perubahan waktu.

Sedangkan konfigurasi *unsteady* digunakan ketika pengambilan hasil simulasi dapat dilakukan pada *time step* tertentu. Konfigurasi *unsteady* tetap mengidentifikasi jika terdapat perubahan properti fluida di setiap perubahan waktu.

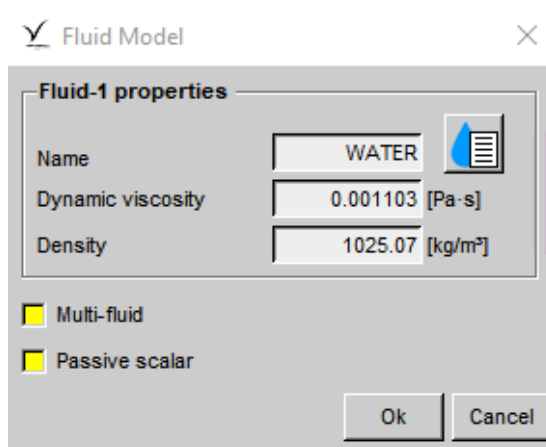
Pada kasus simulasi *open water test* digunakan konfigurasi *unsteady* dikarenakan *propeller* selalu berotasi sehingga dibutuhkan hasil yang lebih detail di setiap perubahan waktu.



Gambar 3. 11 *General Parameters*
Sumber : Dokumen Pribadi

b. *Fluid Model*

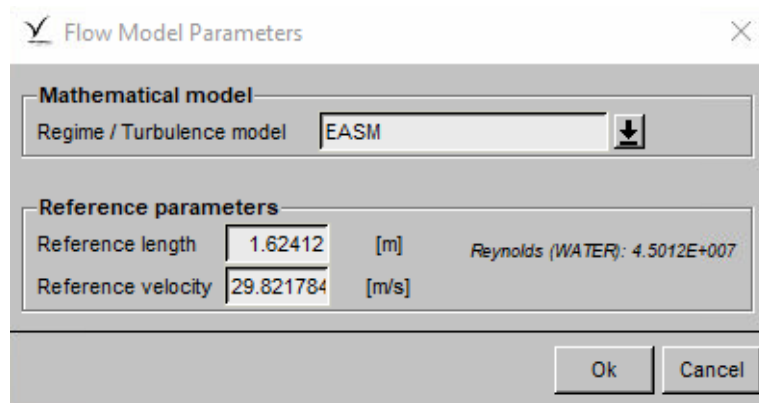
Parameter ini merupakan pengaturan fluida yang digunakan dalam proses simulasi. Pada penelitian ini digunakan fluida *salt water* 19° C.



Gambar 3. 12 *Fluid Model*
Sumber : Dokumen Pribadi

c. *Flow Model*

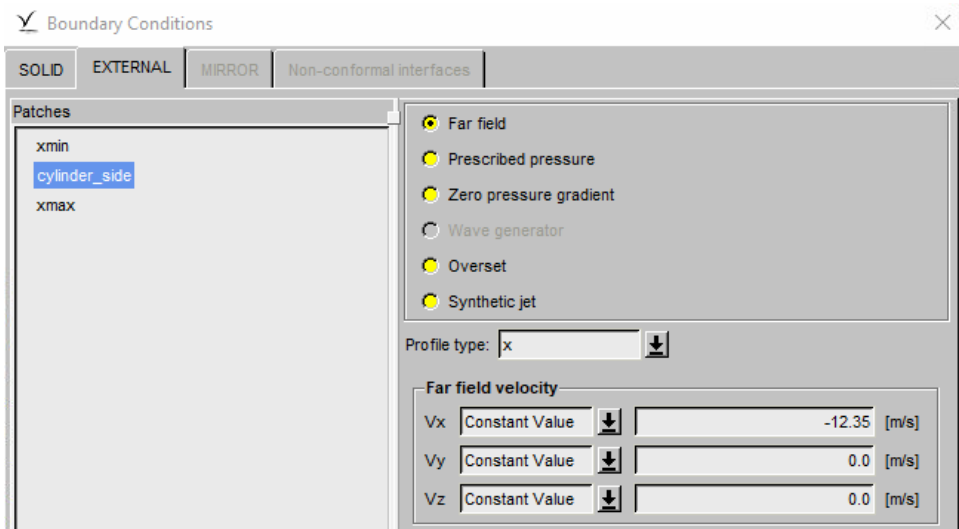
Parameter ini merupakan definisi untuk menentukan karakteristik dari aliran yang digunakan sesuai dengan permodelan matematika yang sudah tersedia. Pada bagian *Reference Parameters* mendefinisikan perhitungan nilai *Reynolds number*. Pada simulasi *open water test*, *Reference length* dapat diinput dengan jari-jari *propeller*. Sedangkan *Reference Velocity* dapat diinput dengan kecepatan relatif (V_r) dari suatu *propeller*.



Gambar 3. 13 *Flow Model*
Sumber : Dokumen Pribadi

d. *Boundary Condition*

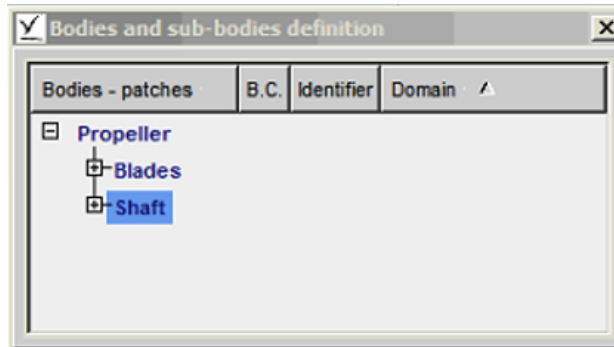
Boundary Condition merupakan pendefinisian dari kondisi batasan-batasan yang akan disimulasikan. Pada konfigurasi kondisi solid yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan mendefinisikan *propeller* sebagai *wall-function* dan *shaft* sebagai slip. Sedangkan pada bagian *external inlet* dan *cylinder side* didefinisikan sebagai *far field* dan dimasukkan nilai V_a (*advance velocity*) pada kolom V_x . Lalu pada bagian *external output* di definisikan sebagai *prescribed pressure* dan dipilih *frozen pressure*.



Gambar 3. 14 *Boundary Conditions*
Sumber : Dokumen Pribadi

e. Body Definition

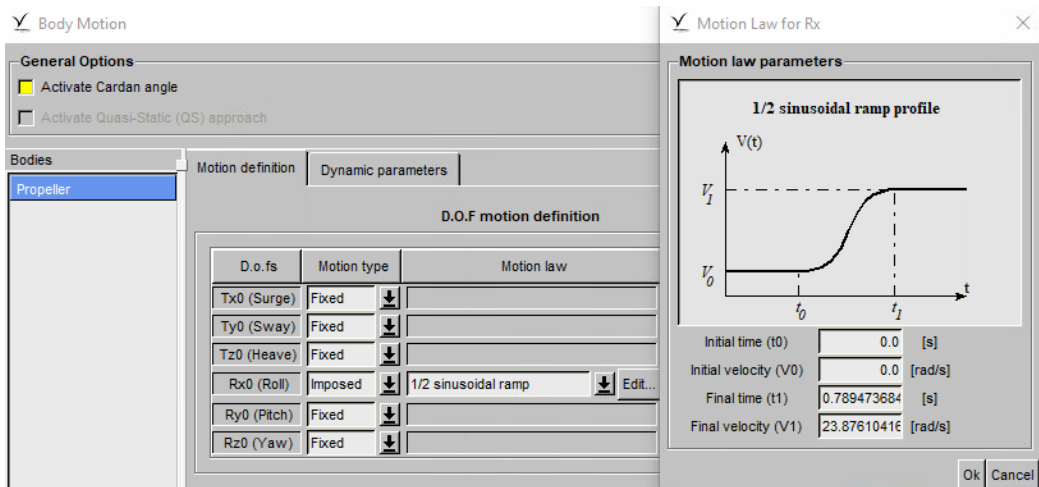
Parameter ini diatur untuk mendefinisikan bagian – bagian yang akan dijadikan bahan pengujian. Pada penelitian ini hanya digunakan satu bagian yaitu propeller yang terdiri dari 2 sub bagian yaitu *blade* dan *shaft*.



Gambar 3. 15 *Body Definition*
Sumber : Dokumen Pribadi

f. Body Motion

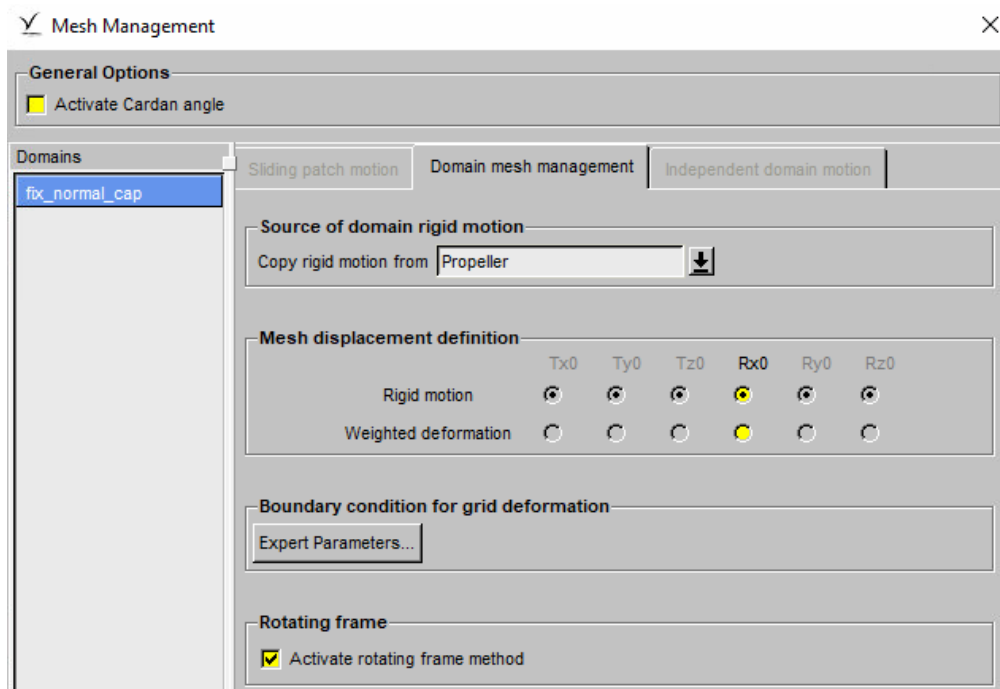
Parameter ini digunakan untuk mendefinisikan gerakan bagian yang akan diuji. Dikarenakan penelitian ini menggunakan gerak rotasi *propeller* maka dipilihlah Rx0 (rotasi sumbu x) dan diinput nilai putaran (rad/s) dari propeller tersebut.



Gambar 3. 16 *Body Motion*
Sumber : Dokumen Pribadi

g. *Mesh Management*

Parameter ini digunakan untuk mendefinisikan gerak dari *mesh*. Pada penelitian ini dipilih Rx0 karena diputar di sumbu x. Selain itu pilihan *rotating frame method* juga diaktifkan.

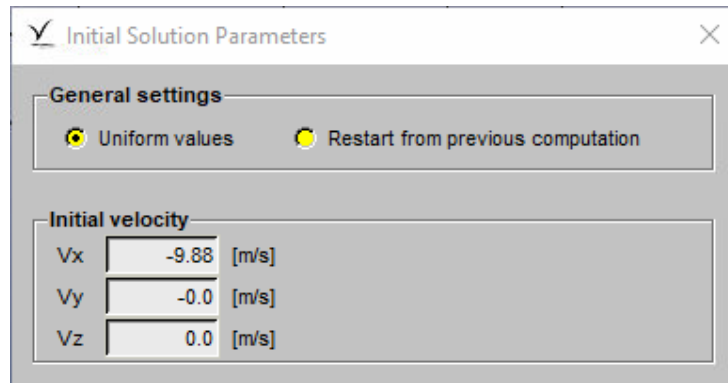


Gambar 3. 17 *Mesh Management*

Sumber : Dokumen Pribadi

h. *Initial Solution*

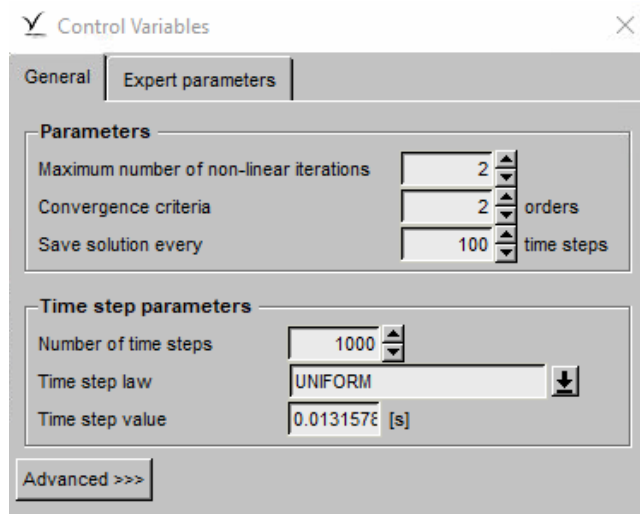
Parameter ini merupakan besaran nilai kecepatan aliran pada sumbu x,y,z. Pada penelitian ini digunakan aliran sumbu x dengan nilai sebesar V_a .



Gambar 3. 18 *Initial Solution*
Sumber : Dokumen Pribadi

i. *Control Variables*

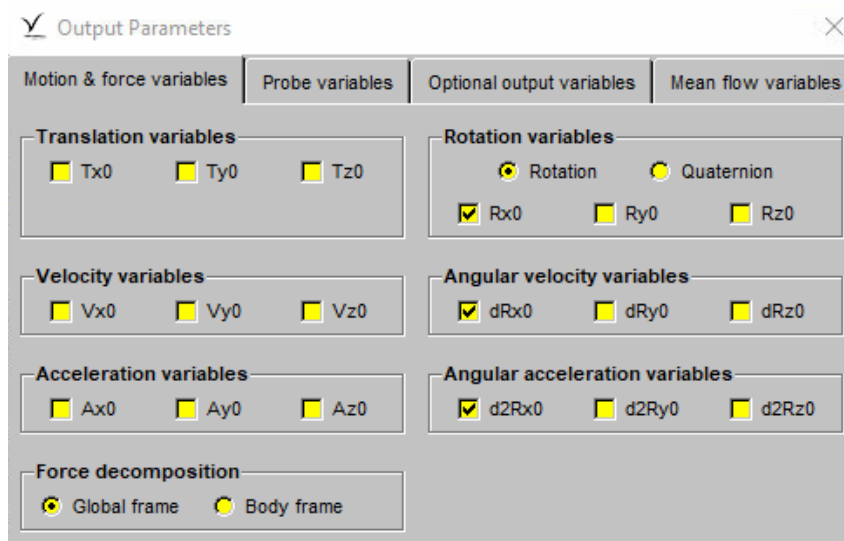
Parameter ini digunakan untuk mengatur perhitungan iterasi dan jumlah *time step*. *Time step* menyatakan banyaknya tahapan *solver*. Sedangkan, *time step value* menyatakan nilai waktu di setiap *time step*. Penentuan *time step* dan *time step value* minimal dapat dihitung dari waktu yang dibutuhkan (*final time*) di parameter *Body Motion*.



Gambar 3. 19 *Control Variables*
Sumber : Dokumen Pribadi

j. Output Parameters

Parameter ini digunakan untuk memilih variable hasil apa saja yang ingin didapatkan setelah simulasi.



Gambar 3. 20 Output Parameters

Sumber : Dokumen Pribadi

Setelah semua parameter diatas sudah ditentukan, maka simulasi dapat dijalankan dengan memilih menu *Start Solver*.

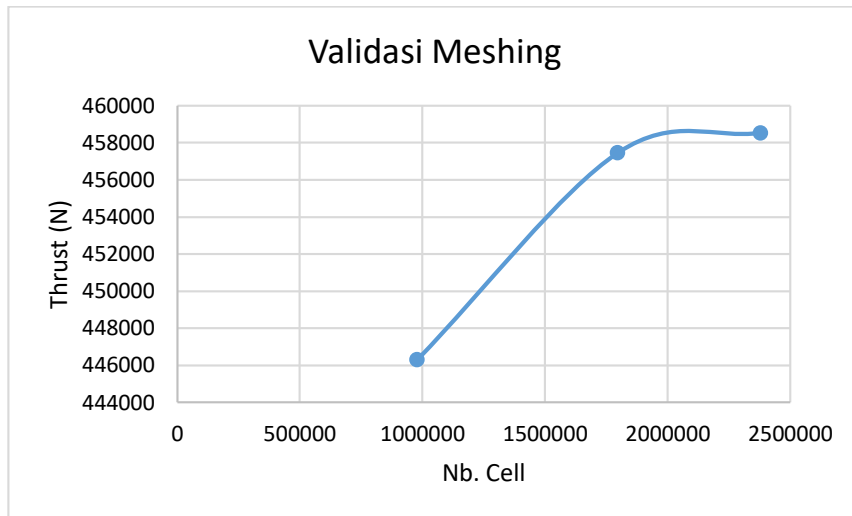
7. Validasi hasil simulasi

Pada proses validasi dari hasil simulasi *Open Water Test*, digunakan validasi *meshing* untuk memastikan hasil simulasi sudah akurat. Validasi *meshing* dilakukan dengan cara memvariasikan jumlah *cell* dari suatu model sampai mengetahui berapa jumlah *cell* minimal yang dibutuhkan. Berikut adalah hasil dari simulasi INSEAN E-1619 *Submarine Propeller* dengan 3 variasi jumlah *cell* yang berbeda.

Tabel 3. 4 Validasi *Meshing*

Variasi	Jumlah Cell (juta)	J	Thrust (N)
1	2.4	0.6	458530.3
2	1.8	0.6	457464.3
3	1	0.6	446317.4

Sumber : Dokumen Pribadi



Gambar 3. 21 Grafik Validasi *Meshing*
Sumber : Dokumen Pribadi

Dari grafik diatas, dapat dilihat bahwa pada *cell* berjumlah 1.8 juta nilainya mulai konstan mendekati *cell* berjumlah 2.4 juta. Maka, *cell* berjumlah 1.8 – 2.4 juta sudah dianggap konvergen.

Validasi *meshing* juga dapat dinilai dari nilai *relative error* dari hasil variasi 1 dan variasi 2 (e_{21}) (Schwer, 2008). Nilai e_{21} dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$e_{21} = \left| \frac{f_2 - f_1}{f_1} \right|$$

Sumber : (Schwer, 2008)

Maka nilai e_{21} pada penelitian ini adalah :

$$f_2 \text{ (Hasil dari variasi 2)} = 457464.3 \text{ N}$$

$$f_1 \text{ (Hasil dari variasi 1)} = 458530.3 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} e_{21} &= \frac{|457464.3 - 458530.3|}{458530.3} \\ &= 0.00232 = 0.232\% \end{aligned}$$

Kurt Mizzi pada penelitiannya yang membahas tentang optimasi desain PBCF, menggunakan nilai e_{21} pada nilai *thrust* sebesar 0.492% (Mizzi, et al., 2017). Dari penjelasan dan perhitungan diatas, dapat disimpulkan bahwa *cell* berjumlah 1.8 – 2.4 juta sudah dianggap valid dan dapat digunakan untuk standar *mesh* pada penelitian ini.

8. Penentuan Parameter Desain PBCF

Untuk penentuan parameter desain model *PBCF* didapatkan dari saran penelitian – penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya sebagai berikut :

a. Jumlah *fin* PBCF

Hsin pada penelitian sebelumnya menjelaskan bahwa seharusnya jumlah *fin* PBCF harus sama dengan jumlah baling dari *propeller* (Hsin, et al., 2009). Dikarenakan penelitian ini menggunakan model INSEAN E-1619 *Submarine Propeller* yang memiliki 7 baling, maka jumlah *fin* PBCF yang digunakan sebanyak 7 *fin*.

b. Diameter PBCF (D PBCF)

Diameter PBCF dapat diidentifikasi menggunakan rasio radius PBCF terhadap *propeller* (r/R). Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Lim yang menganalisa PBCF pada kapal kontainer, nilai r/R terbaik yang dapat digunakan adalah 0.28 (Lim, et al., 2014).

Tabel 3. 5 Hasil Variasi r/R PBCF

r/R	Effisiensi (η_o)
	J 0.6
0.28	0.5563
0.29	0.5556
0.31	0.5561

Sumber : (Lim, et al., 2014)

Berdasarkan penjelasan di atas, maka diameter PBCF adalah :

$$D_{prop} = 3.25 \text{ m}$$

$$r/R = 0.28$$

$$D_{PBCF} = r/R \times D_{prop}$$

$$= 0.28 \times 3.25$$

$$= 0.91 \text{ m} = 910 \text{ mm}$$

c. Longitudinal Position ($xPBCF$)

Pada penelitian sebelumnya tentang desain PBCF yang dilakukan oleh Stefano Gaggero menyarankan untuk nilai *axial position* dibanding diameter *propeller* ($xPBCF/D_{prop}$) sebesar 0.17 (Gaggero, 2018). Maka dari itu, nilai $xPBCF$ pada penelitian ini adalah :

$$D_{prop} = 3.25 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 xPBCF/D_{prop} &= 0.17 \\
 xPBCF &= xPBCF/D_{prop} \times D_{prop} \\
 &= 0.17 \times 3.25 \\
 &= 0.5525 \text{ m} = 552.5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

d. *Span dan Chord fin PBCF*

Izzul Fikri pada penelitiannya yang mengamati efek perubahan rasio *span to chord (STC)* PBCF pada *propeller C-Series* menjelaskan bahwa rasio STC terbaik berada pada nilai 0.23 (Fikry, 2019).

Tabel 3. 6 Hasil Variasi Rasio STC PBCF

Rasio STC	Rata-rata Peningkatan Efisiensi
0.17	2.71 %
0.23	3.49 %
0.29	3.10 %
0.34	3.41 %

Sumber : (Fikry, 2019)

Berdasarkan penjelasan diatas, maka dimensi *span* dan *chord* pada penelitian ini adalah :

$$\begin{aligned}
 \textit{Span} &= (D_{PBCF} - \textit{Diameter Boss Cap})/2 \\
 &= (910 - 657) / 2 \\
 &= 253 / 2 = 126.5 \text{ mm} \\
 \textit{Chord} &= \textit{Span} / \textit{Rasio STC} \\
 &= 126.5 / 0.23 = 550 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

e. Pemilihan Foil PBCF

Pada penelitian ini menggunakan *NACA Airfoil Series* dalam pemilihan foil untuk PBCF. *National Advisory Committee for Aeronautics (NACA)* menyarankan bahwa seri *NACA Airfoil* yang cocok untuk diaplikasikan pada *propeller* kapal adalah *NACA 16 series* (Scott, 2001).

Dalam proses pemilihan foil juga dipengaruhi oleh nilai *Reynolds Number (Rn)*. *Reynolds Number* pada *propeller* dapat dirumuskan pada formula berikut :

$$R_n = \frac{\rho n D^2}{\mu}$$

Sumber : (Carlton, 2007)

Model *propeller* pada penelitian ini disimulasi di *salt water* dengan suhu 19° C. Maka *Reynolds Number* PBCF pada penelitian ini adalah :

$$\rho \text{ (densitas)} = 1025.07 \text{ kg/m}^3$$

$$n = 3.8 \text{ rps}$$

$$D \text{ (diameter PBCF)} = 0.91 \text{ m}$$

$$\mu \text{ (Dynamic Viscosity)} = 0.001103 \text{ Pa.s}$$

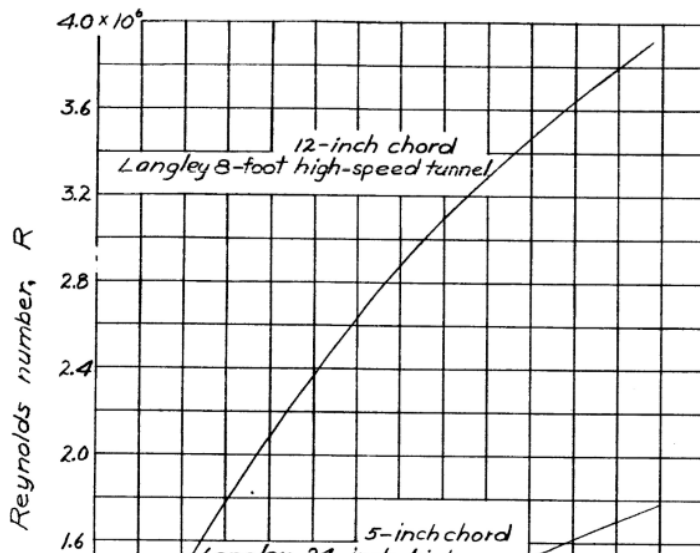
Tabel 3. 7 Karakteristik *Salt Water*

Temp <i>t</i> (°C)	Density ρ (kg/m ³)	$\partial\rho/\partial t$ (kg/m ³ .°C)	Viscos μ (Pa.s)
1	1028.0941	-0.0680	0.001843
2	1028.0197	-0.0810	0.001783
3	1027.9327	-0.0930	0.001726
4	1027.8336	-0.1050	0.001671
5	1027.7225	-0.1170	0.001620
6	1027.6000	-0.1280	0.001571
7	1027.4662	-0.1390	0.001524
8	1027.3214	-0.1500	0.001480
9	1027.1659	-0.1605	0.001438
10	1027.0000	-0.1710	0.001397
11	1026.8238	-0.1815	0.001359
12	1026.6376	-0.1915	0.001322
13	1026.4416	-0.2010	0.001286
14	1026.2360	-0.2105	0.001252
15	1026.0210	-0.2195	0.001220
16	1025.7967	-0.2290	0.001189
17	1025.5633	-0.2380	0.001159
18	1025.3210	-0.2470	0.001131
19	1025.0700	-0.2555	0.001103
20	1024.8103	-0.2640	0.001077

Sumber : (ITTC, 2011)

$$\begin{aligned}
 R_n &= 1025.07 \times 3.8 \times (0.91^2) / 0.001103 \\
 &= 2,924,451.29
 \end{aligned}$$

Harold E. Cleary pada penelitiannya tentang efek *Reynolds Number* pada *airfoil* NACA 16 *series* menjelaskan bahwa *Reynolds Number* maksimal dari NACA 16 *series* dapat mencapai lebih dari 3.8 juta (Cleary, 1952).



Gambar 3. 22 Maximum Reynolds Number NACA 16 Series
Sumber : (Cleary, 1952)

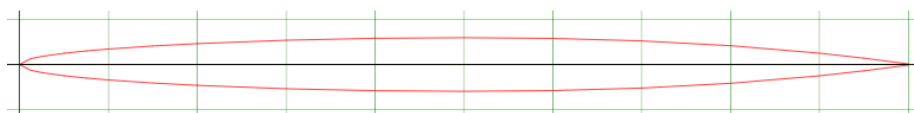
Dengan perhitungan R_n diatas maka NACA 16-006 *series* dapat digunakan untuk foil PBCF pada penelitian ini.

Tabel 3. 8 Geometri NACA 16-006

X	Y	
	Back	Face
0	0	0
0.0125	-0.00646	0.00646
0.025	-0.00903	0.00903
0.05	-0.01255	0.01255
0.075	-0.01516	0.01516
0.1	-0.01729	0.01729
0.15	-0.02067	0.02067
0.2	-0.02332	0.02332
0.3	-0.02709	0.02709
0.4	-0.02927	0.02927

0.5	-0.03	0.03
0.6	-0.02917	0.02917
0.7	-0.02635	0.02635
0.8	-0.02099	0.02099
0.9	-0.01259	0.01259
0.95	-0.00707	0.00707
1.0	-0.0006	0.0006

Sumber : airfoiltools.com



Gambar 3. 23 Geometri NACA 16-006

Sumber : airfoiltools.com

f. Sudut *rake* (*Inclination of PBCF*)

Pada penelitian sebelumnya oleh Lim membuat variasi sudut *rake* 10° , 0° , -10° pada PBCF. Dari penelitian itu didapatkan hasil bahwa sudut *rake* PBCF 0° memiliki efisiensi yang lebih baik (Lim, et al., 2014). Maka dalam penelitian ini menggunakan sudut *rake* PBCF 0° .

Tabel 3. 9 Hasil Variasi sudut *rake* PBCF

Sudut <i>Rake</i>	Effisiensi (η)
	J 0.6
-10°	0.5561
0°	0.5563
10°	0.5556

Sumber : (Lim, et al., 2014)

g. Sudut *pitch* (*Installation Angle of PBCF*)

Selain variasi rasio r/R dan sudut *rake*, Lim pada penelitian sebelumnya juga memvariasikan sudut *pitch* pada PBCF. Variasi sudut *pitch* yang digunakan adalah 61.5° , 66.5° , 71.5° . Dari penelitian itu didapatkan hasil bahwa sudut *pitch* 61.5° memiliki efisiensi yang lebih baik (Lim, et al., 2014).

Dikarenakan setiap *propeller* memiliki karakteristik *pitch* (P/D) yang berbeda, maka pada penelitian ini, penulis mencoba untuk menambah variasi sudut *pitch* PBCF yang nilainya diasumsikan sama dengan sudut *pitch* dibagian *root propeller* INSEAN E-1619 sebesar 35° .

Tabel 3. 10 Hasil Variasi Sudut *Pitch* PBCF

Sudut <i>pitch</i>	Effisiensi (η_0)
	J 0.8
61.5°	0.582
35°	0.602

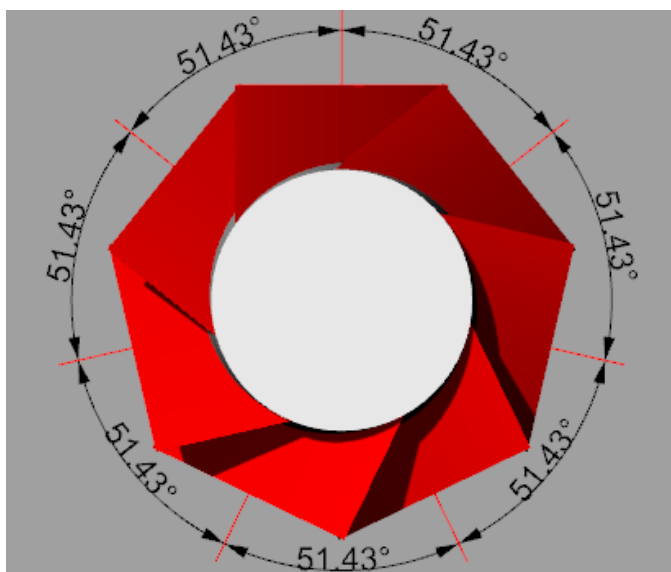
Sumber : (Lim, et al., 2014)

Setelah dilakukan percobaan terhadap variasi sudut *pitch* PBCF 61.5° dan 35°, didapatkan hasil bahwa sudut *pitch* PBCF 35° memiliki hasil efisiensi yang lebih baik. Sehingga pada penelitian ini menggunakan sudut *pitch* PBCF 35°.

h. Penentuan variasi sudut *phase lag* PBCF

Penentuan sudut *phase lag* merupakan hal yang penting pada PBCF. Hal ini digunakan untuk mengetahui posisi sudut PBCF terhadap *blade propeller* yang paling optimal, sehingga PBCF dapat menerima aliran yang dihasilkan setelah melewati *blade propeller* pada posisi yang tepat. Pada penelitian ini akan menggunakan 4 variasi sudut *phase lag* PBCF dengan penentuan seperti berikut :

$$\begin{aligned} \text{Jumlah baling } \textit{propeller} &= 7 \\ \text{Jarak sudut antar PBCF} &= 360^\circ / 7 \\ &= 51.43^\circ \end{aligned}$$



Gambar 3. 24 Posisi sudut antar PBCF

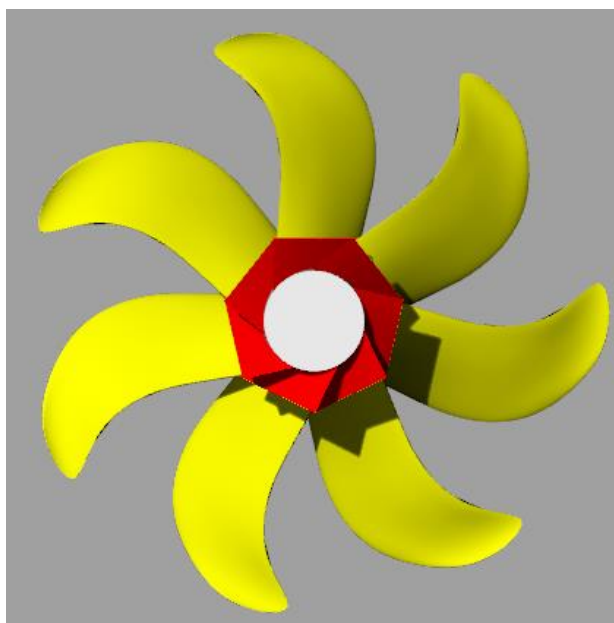
Sumber : Dokumen Pribadi

$$\begin{aligned} \text{Pembagian variasi sudut } \textit{phase lag} &= 51.43^\circ / 4 \\ &= 12.86^\circ \end{aligned}$$

Sehingga pada penelitian ini digunakan variasi sudut *phase lag* PBCF dengan parameter desain seperti berikut :

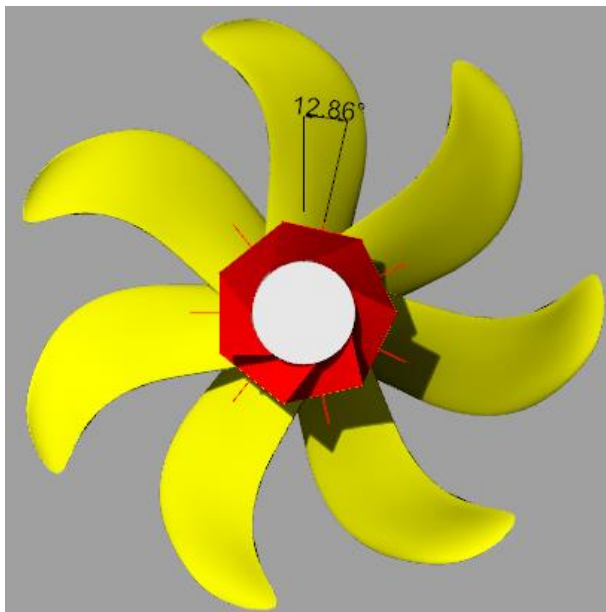
Tabel 3. 11 Variasi Desain PBCF

Variasi	PBCF 01	PBCF 02	PBCF 03	PBCF 04
Sudut <i>phase lag</i> (°)	0	12.86	25.72	38.58
Sudut <i>pitch</i> (°)	35	35	35	35
Sudut <i>rake</i> (°)	0	0	0	0
r/R	0.28	0.28	0.28	0.28
xPBCF (mm)	552.5	552.5	552.5	552.5
Jenis foil	NACA 16	NACA 16	NACA 16	NACA 16
<i>Chord fin</i> (mm)	550	550	550	550
Jumlah <i>fin</i>	7	7	7	7

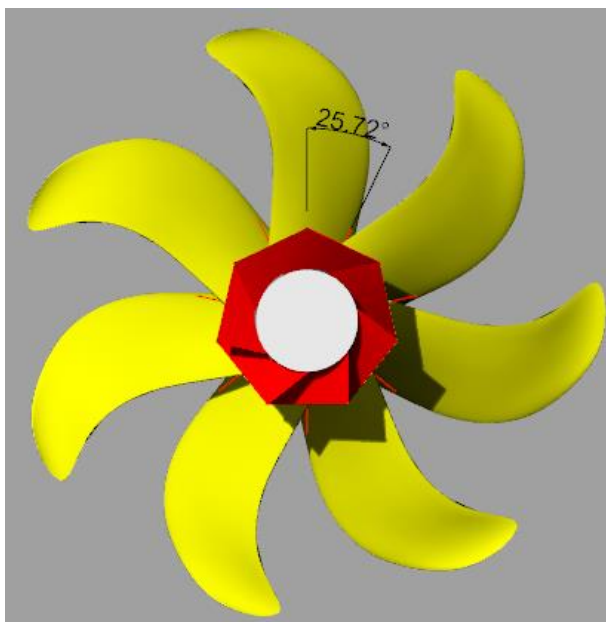


Gambar 3. 25 PBCF 01 (*phase lag* 0°)

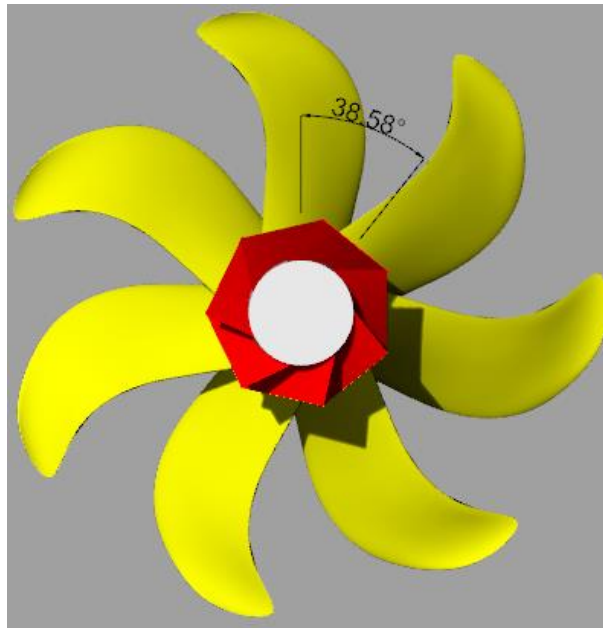
Sumber : Dokumen Pribadi



Gambar 3. 26 PBCF 02 (*phase lag* 12.86°)
Sumber : Dokumen Pribadi



Gambar 3. 27 PBCF 03 (*phase lag* 25.72°)
Sumber : Dokumen Pribadi



Gambar 3. 28 PBCF 04 (*phase lag* 38.58°)

Sumber : Dokumen Pribadi

9. Analisa Hasil Simulasi

Setelah mendapatkan seluruh data hasil simulasi, berikutnya dilakukan analisa bagaimana pengaruh penambahan *PBCF* terhadap *skewed propeller* dengan variasi sudut *phase lag* terhadap performa (*thrust*, *torque*, dan efisiensi). Selain itu pada penelitian ini juga menganalisa hasil aliran yang dihasilkan dengan *software* NUMECA CFView.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Performa *Propeller* INSEAN E-1619

Pada penelitian ini digunakan beberapa variasi koefisien *advance*. Sesuai saran dari ITTC dalam prosedur *open water test* seharusnya putaran *propeller* (RPM) dijaga konstan untuk mencapai hasil yang reliabel (ITTC, 2014). Berikut adalah variasi koefisien *advance* yang digunakan pada penelitian ini :

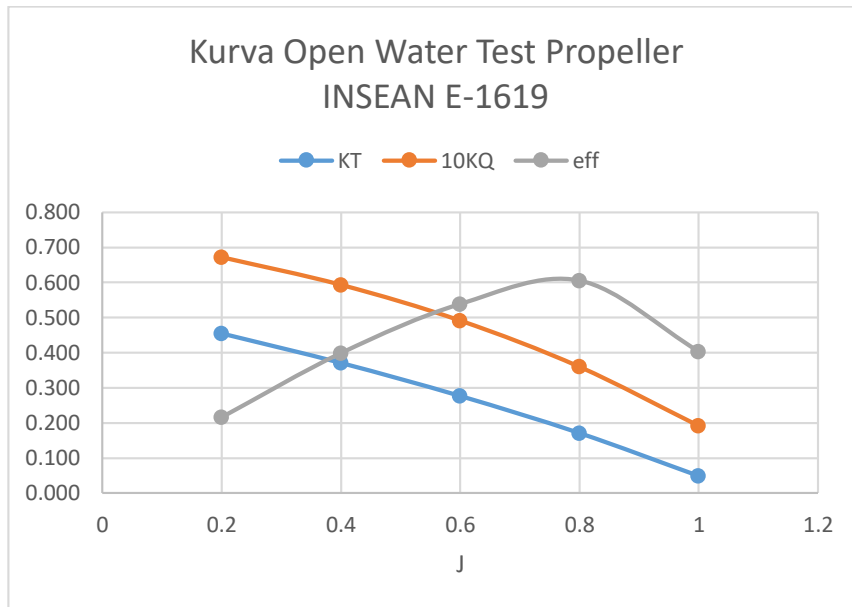
Tabel 4. 1 Variasi Koefisien *Advance*

J	RPM	RPS	Va (m/s)
0.2	228	3.8	2.470
0.4	228	3.8	4.940
0.6	228	3.8	7.410
0.8	228	3.8	9.880
1.0	228	3.8	12.350

Setelah melakukan simulasi *open water test* pada INSEAN E-1619 *Submarine Propeller* didapatkan hasil seperti berikut :

Tabel 4. 2 Karakteristik Performa INSEAN E-1619 *Submarine Propeller*

J	Thrust (kN)	Torsi (kNm)	η_o	KT	10KQ
0.2	752.118	360.854	0.216	0.455	0.672
0.4	613.161	318.674	0.398	0.371	0.594
0.6	457.464	264.021	0.538	0.277	0.492
0.8	282.653	193.470	0.605	0.171	0.360
1.0	80.556	103.302	0.404	0.049	0.192



Gambar 4. 1 Kurva Open Water Test Propeller INSEAN E-1619

4.2 Analisa Performa *Propeller* INSEAN E-1619 dengan penambahan PBCF

4.2.1 Analisa Performa Variasi PBCF 01 (*Phase Lag 0°*)

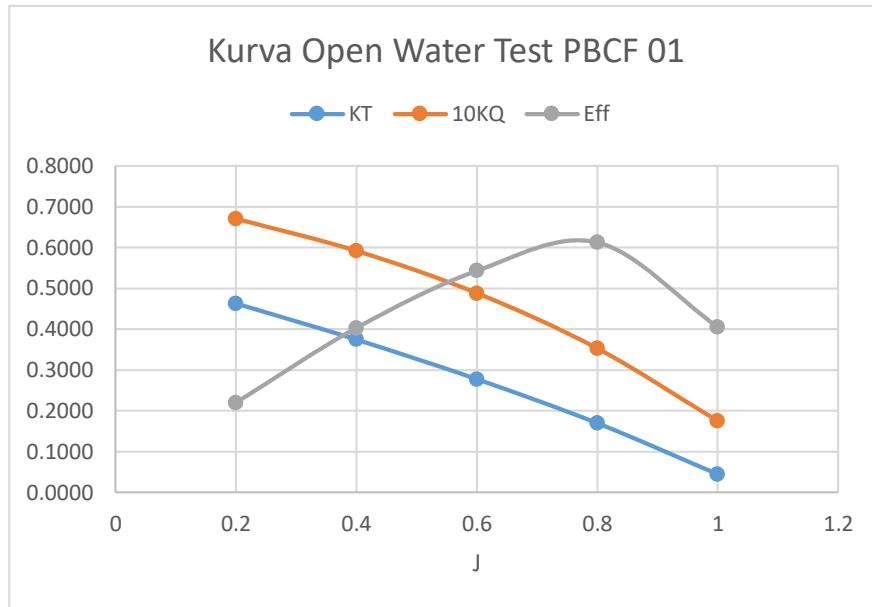
Tabel 4. 3 Analisa Performa Variasi PBCF 01

J	INSEAN E-1619			Variasi PBCF 01			Peningkatan			
	T	Q	Π_o	T	Q	Π_o	$\Delta T(\%)$	$\Delta Q(\%)$	$\Delta \Pi(\%)$	
0.2	752.118	360.854	0.216	765.000	360.047	0.220	1.713	-0.223	1.940	
0.4	613.161	318.674	0.398	618.778	317.709	0.403	0.916	-0.303	1.223	
0.6	457.464	264.021	0.538	458.573	262.099	0.543	0.242	-0.728	0.978	
0.8	282.653	193.470	0.605	280.501	189.410	0.613	-0.761	-2.098	1.366	
1.0	80.556	103.302	0.404	73.688	93.947	0.406	-8.526	-9.056	0.583	
Rata – rata peningkatan								-1.283	-2.482	1.218

Dari Tabel 4.3 dapat disimpulkan bahwa pada variasi PBCF 01 nilai *thrust* cenderung mengalami penurunan dengan rata – rata sebesar -1.283%. Hal ini dikarenakan nilai *thrust* pada J 1.0 turun drastis hingga -8.526%. Namun, pada variasi J 0.2, 0.4 dan 0.6 nilai *thrust* tetap mengalami peningkatan.

Untuk nilai torsi yang dihasilkan oleh variasi PBCF 01 mengalami penurunan di seluruh variasi koefisien *advance* dengan rata-rata sebesar -2.482%. Penurunan torsi tertinggi terjadi pada J 1.0 dengan penurunan hingga -9.056%.

Untuk nilai efisiensi yang dihasilkan oleh variasi PBCF 01 mengalami peningkatan di seluruh variasi koefisien *advance* dengan rata-rata sebesar 1.218%. Peningkatan efisiensi tertinggi terjadi pada J 0.2 dengan peningkatan sebesar 1.94%.



Gambar 4. 2 Kurva Open Water Test PBCF 01

4.2.2 Analisa Performa Variasi PBCF 02 (*Phase Lag 12.86°*)

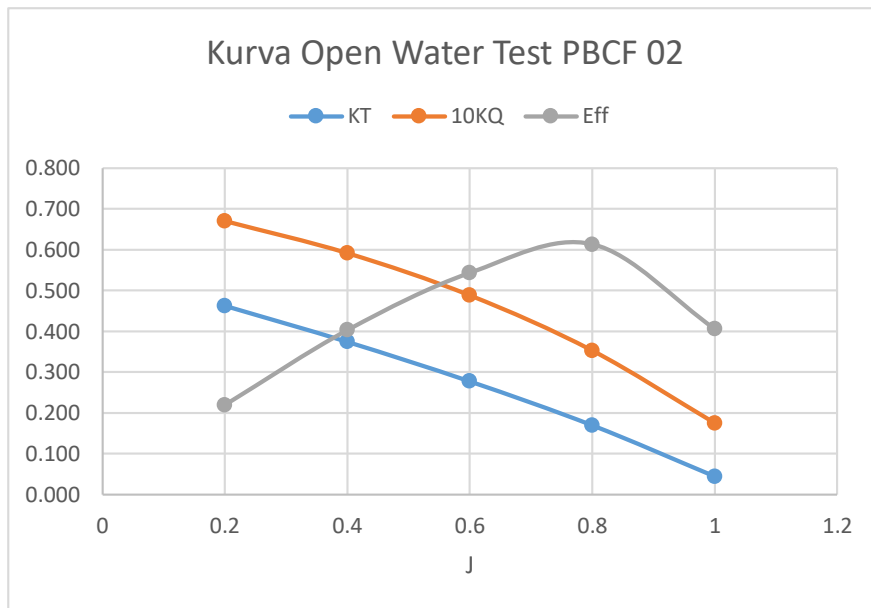
Tabel 4. 4 Analisa Performa Variasi PBCF 02

J	INSEAN E-1619			Variasi PBCF 02			Peningkatan		
	T	Q	Π_0	T	Q	Π_0	$\Delta T(\%)$	$\Delta Q(\%)$	$\Delta \Pi(\%)$
0.2	752.118	360.854	0.216	764.754	360.000	0.220	1.680	-0.236	1.921
0.4	613.161	318.674	0.398	618.645	317.700	0.403	0.894	-0.306	1.204
0.6	457.464	264.021	0.538	458.551	262.109	0.543	0.237	-0.724	0.969
0.8	282.653	193.470	0.605	280.506	189.367	0.613	-0.759	-2.121	1.391
1.0	80.556	103.302	0.404	73.624	93.876	0.406	-8.606	-9.124	0.571
Rata – rata peningkatan							-1.311	-2.502	1.211

Dari Tabel 4.4 dapat disimpulkan bahwa pada variasi PBCF 02 nilai *thrust* cenderung mengalami penurunan dengan rata – rata sebesar -1.311%. Hal ini dikarenakan nilai *thrust* pada J 1.0 turun drastis hingga -8.606%. Namun, pada variasi J 0.2, 0.4 dan 0.6 nilai *thrust* tetap mengalami peningkatan.

Untuk nilai torsi yang dihasilkan oleh variasi PBCF 02 mengalami penurunan di seluruh variasi koefisien *advance* dengan rata-rata sebesar -2.502%. Penurunan torsi tertinggi terjadi pada J 1.0 dengan penurunan hingga -9.124%.

Untuk nilai efisiensi yang dihasilkan oleh variasi PBCF 02 mengalami peningkatan di seluruh variasi koefisien *advance* dengan rata-rata sebesar 1.211%. Peningkatan efisiensi tertinggi terjadi pada J 0.2 dengan peningkatan sebesar 1.921%.



Gambar 4. 3 Kurva Open Water Test PBCF 02

4.2.3 Analisa Performa Variasi PBCF 03 (*Phase Lag 25.72°*)

Tabel 4. 5 Analisa Performa Variasi PBCF 03

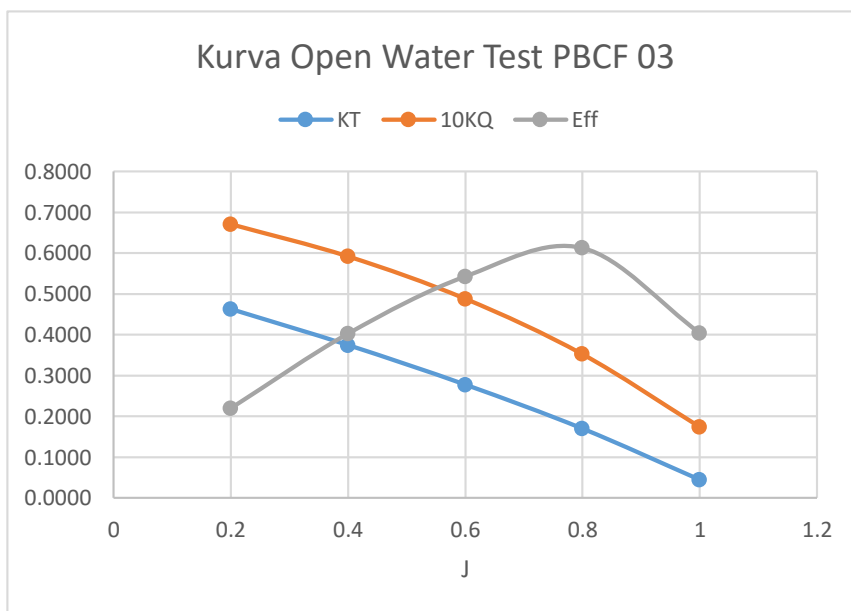
J	INSEAN E-1619			Variasi PBCF 03			Peningkatan		
	T	Q	Π_o	T	Q	Π_o	$\Delta T(\%)$	$\Delta Q(\%)$	$\Delta \Pi(\%)$
0.2	752.118	360.854	0.216	764.911	360.135	0.220	1.701	-0.199	1.904
0.4	613.161	318.674	0.398	618.901	317.862	0.403	0.936	-0.255	1.194
0.6	457.464	264.021	0.538	458.749	262.190	0.543	0.281	-0.694	0.981
0.8	282.653	193.470	0.605	280.506	189.403	0.613	-0.760	-2.102	1.371
1.0	80.556	103.302	0.404	73.436	93.910	0.405	-8.839	-9.091	0.277
Rata – rata peningkatan							-1.336	-2.468	1.145

Dari Tabel 4.5 dapat disimpulkan bahwa pada variasi PBCF 03 nilai *thrust* cenderung mengalami penurunan dengan rata – rata sebesar -1.336%. Hal ini dikarenakan

nilai *thrust* pada J 1.0 turun drastis hingga -8.839%. Namun, pada variasi J 0.2, 0.4 dan 0.6 nilai *thrust* tetap mengalami peningkatan.

Untuk nilai torsi yang dihasilkan oleh variasi PBCF 03 mengalami penurunan di seluruh variasi koefisien *advance* dengan rata-rata sebesar -2.468%. Penurunan torsi tertinggi terjadi pada J 1.0 dengan penurunan hingga -9.091%.

Untuk nilai efisiensi yang dihasilkan oleh variasi PBCF 03 mengalami peningkatan di seluruh variasi koefisien *advance* dengan rata-rata sebesar 1.145%. Peningkatan efisiensi tertinggi terjadi pada J 0.2 dengan peningkatan sebesar 1.904%.



Gambar 4. 4 Kurva Open Water Test PBCF 03

4.2.4 Analisa Performa Variasi PBCF 04 (Phase Lag 38.58°)

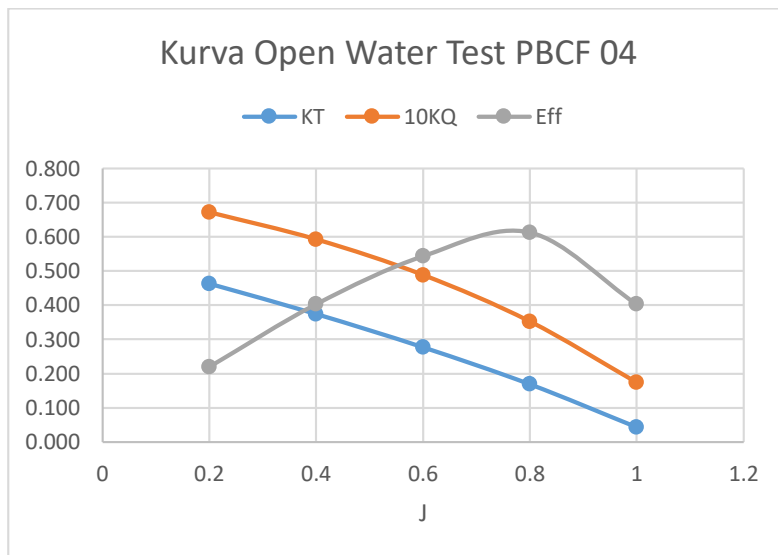
Tabel 4. 6 Analisa Performa Variasi PBCF 04

J	INSEAN E-1619			Variasi PBCF 04			Peningkatan		
	T	Q	Π_o	T	Q	Π_o	$\Delta T(\%)$	$\Delta Q(\%)$	$\Delta \Pi(\%)$
0.2	752.118	360.854	0.216	765.179	360.133	0.220	1.737	-0.200	1.940
0.4	613.161	318.674	0.398	618.828	317.746	0.403	0.924	-0.291	1.219
0.6	457.464	264.021	0.538	458.497	262.018	0.543	0.226	-0.759	0.992
0.8	282.653	193.470	0.605	280.172	189.252	0.613	-0.878	-2.180	1.331
1.0	80.556	103.302	0.404	72.974	93.703	0.403	-9.413	-9.292	-0.134
Rata – rata peningkatan							-1.481	-2.544	1.070

Dari Tabel 4.6 dapat disimpulkan bahwa pada variasi PBCF 04 nilai *thrust* cenderung mengalami penurunan dengan rata – rata sebesar -1.481%. Hal ini dikarenakan nilai *thrust* pada J 1.0 turun drastis hingga -9.413%. Namun, pada variasi J 0.2, 0.4 dan 0.6 nilai *thrust* tetap mengalami peningkatan.

Untuk nilai torsi yang dihasilkan oleh variasi PBCF 04 mengalami penurunan di seluruh variasi koefisien *advance* dengan rata-rata sebesar -2.544%. Penurunan torsi tertinggi terjadi pada J 1.0 dengan penurunan hingga -9.292%.

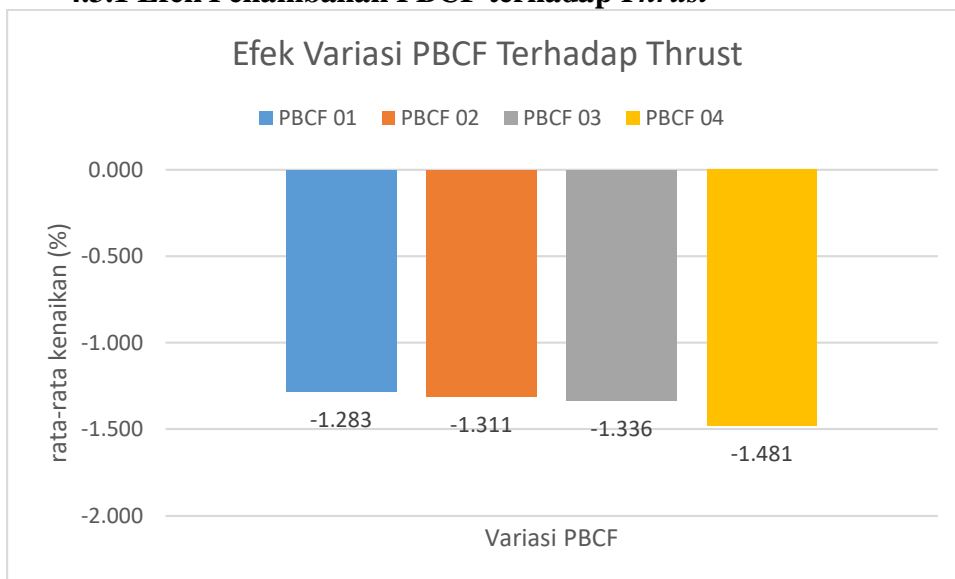
Untuk nilai efisiensi yang dihasilkan oleh variasi PBCF 04 mengalami peningkatan di seluruh variasi koefisien *advance* dengan rata-rata sebesar 1.070%. Peningkatan efisiensi tertinggi terjadi pada J 0.2 dengan peningkatan sebesar 1.940%.



Gambar 4. 5 Kurva Open Water Test PBCF 04

4.3 Efek Penambahan PBCF terhadap Performa *Propeller* INSEAN E-1619

4.3.1 Efek Penambahan PBCF terhadap *Thrust*

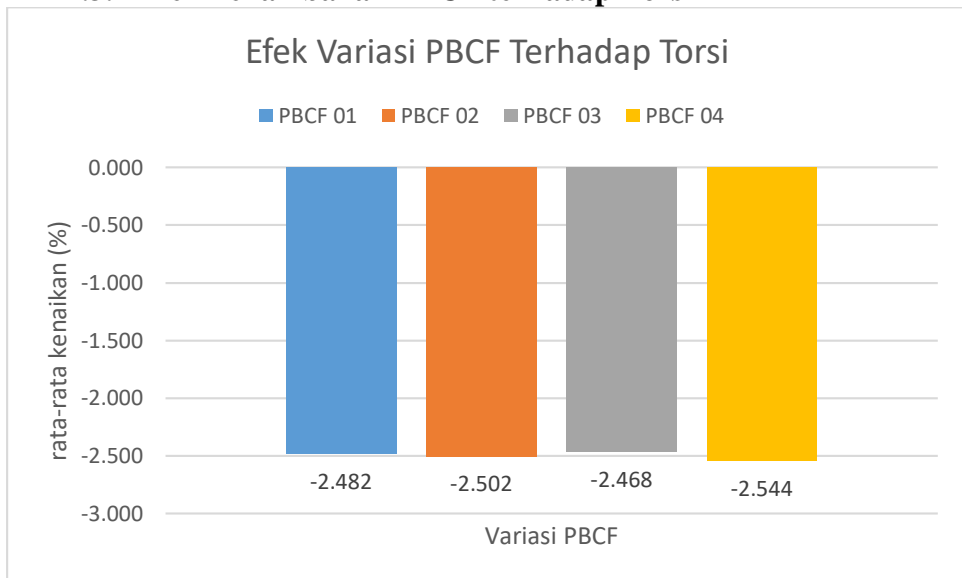


Gambar 4. 6 Efek Variasi PBCF terhadap Thrust

Pada gambar 4.6 dapat dilihat bahwa nilai *thrust* setelah penambahan PBCF di berbagai variasi sudut *phase lag* mengalami penurunan. Hal ini kurang sesuai dengan konsep PBCF dimana seharusnya dapat menambah *thrust* yang dihasilkan *propeller*.

Pada grafik tersebut, terlihat bahwa nilai rata – rata penurunan *thrust* dari setiap variasi sudut *phase lag* tidak jauh berbeda. Nilai *thrust* pada variasi PBCF 01 mengalami penurunan rata – rata sebesar -1.283%, PBCF 02 mengalami penurunan rata – rata sebesar -1.311%, PBCF 03 mengalami penurunan rata – rata sebesar -1.336%, PBCF 04 mengalami penurunan rata – rata sebesar -1.481%.

4.3.2 Efek Penambahan PBCF terhadap Torsi

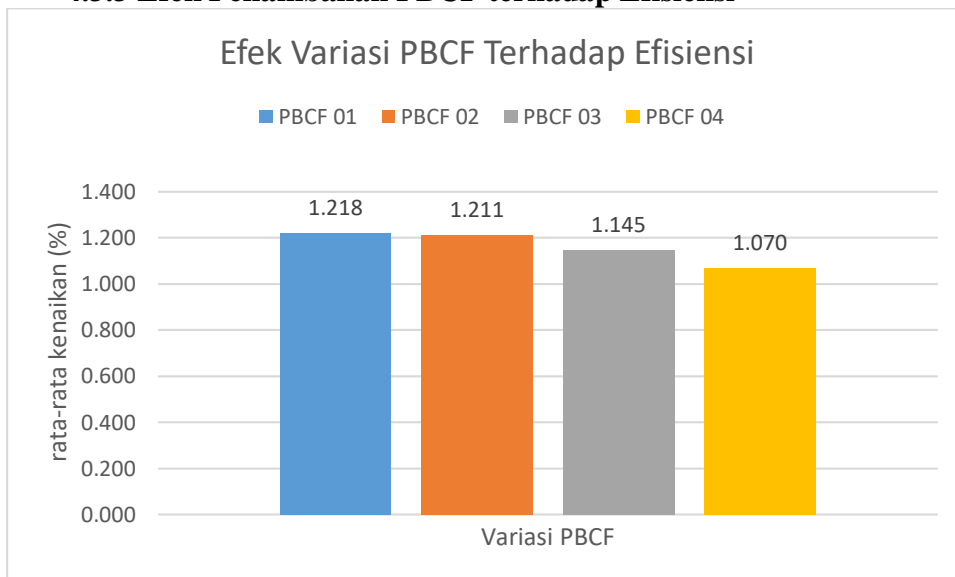


Gambar 4. 7 Efek Variasi PBCF terhadap Torsi

Pada gambar 4.7 dapat dilihat bahwa nilai torsi setelah penambahan PBCF di berbagai variasi sudut *phase lag* mengalami penurunan. Hal ini sudah sesuai dengan konsep PBCF dimana dapat mengurangi torsi yang dihasilkan *propeller*.

Pada grafik tersebut, terlihat bahwa nilai rata – rata penurunan torsi dari setiap variasi sudut *phase lag* tidak jauh berbeda. Nilai torsi pada variasi PBCF 01 mengalami penurunan rata – rata sebesar -2.482%, PBCF 02 mengalami penurunan rata – rata sebesar -2.502%, PBCF 03 mengalami penurunan rata – rata sebesar -2.468%, PBCF 04 mengalami penurunan rata – rata sebesar -2.544%.

4.3.3 Efek Penambahan PBCF terhadap Efisiensi



Gambar 4. 8 Efek Variasi PBCF terhadap Efisiensi

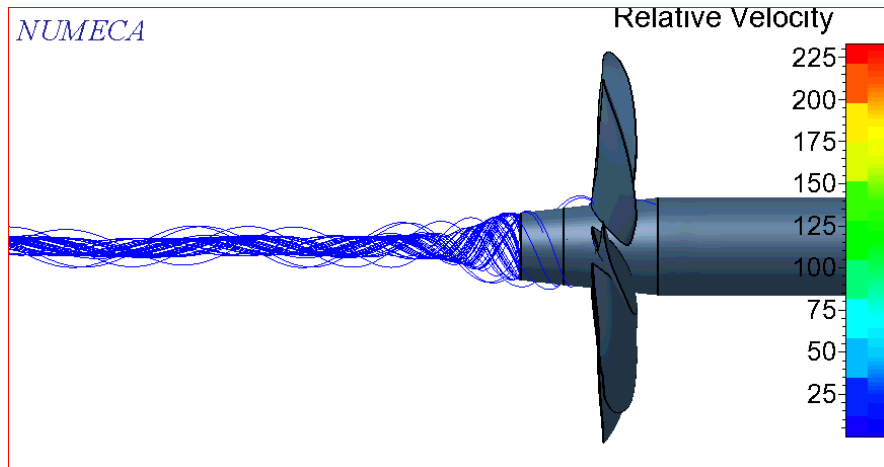
Pada gambar 4.8 dapat dilihat bahwa nilai Efisiensi setelah penambahan PBCF di berbagai variasi sudut *phase lag* mengalami peningkatan. Hal ini sudah sesuai dengan konsep PBCF dimana dapat meningkatkan efisiensi yang dihasilkan *propeller*. Walaupun nilai *thrust* cenderung turun namun nilai torsi terjadi penurunan yang lebih besar. Sehingga, nilai efisiensi meningkat.

Pada grafik tersebut, terlihat bahwa nilai rata – rata peningkatan efisiensi dari setiap variasi sudut *phase lag* tidak jauh berbeda. Nilai peningkatan pada variasi PBCF 01 mengalami peningkatan rata – rata sebesar 1.218%, PBCF 02 mengalami peningkatan rata – rata sebesar 1.211%, PBCF 03 mengalami peningkatan rata – rata sebesar 1.145%, PBCF 04 mengalami peningkatan rata – rata sebesar 1.07%.

4.4 Analisa Aliran pada *Propeller* INSEAN E-1619 Sebelum dan Sesudah Penambahan PBCF

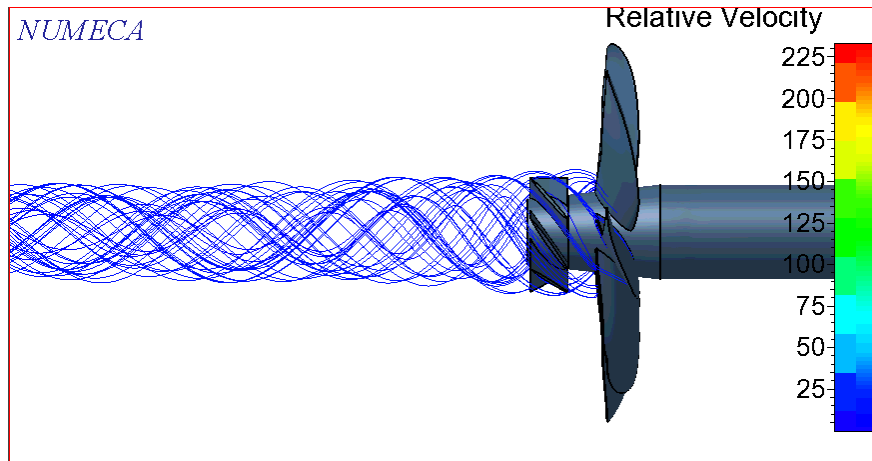
Pada penelitian ini dilakukan analisa efek penambahan PBCF terhadap aliran yang dihasilkan. Berikut adalah hasil aliran dari *propeller* INSEAN E-1619 sebelum dan sesudah penambahan beberapa variasi PBCF yang disimulasikan pada kondisi J 0.8.

- Tanpa PBCF



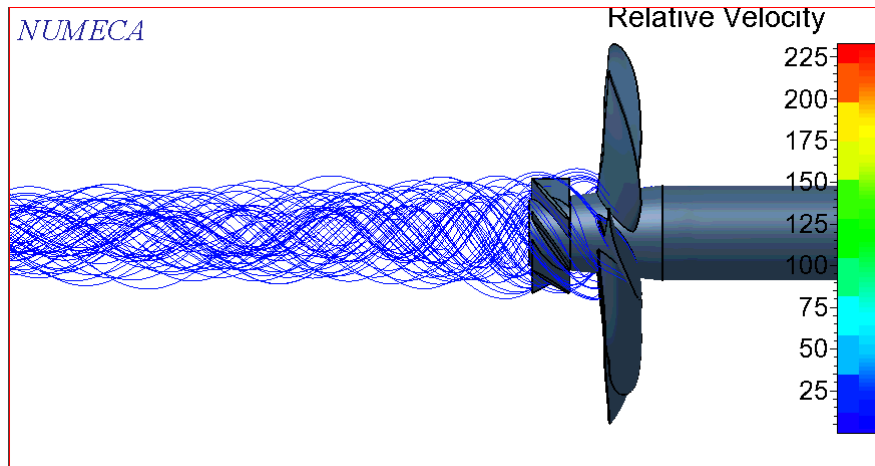
Gambar 4. 9 Aliran pada Propeller INSEAN E-1619

- PBCF 01



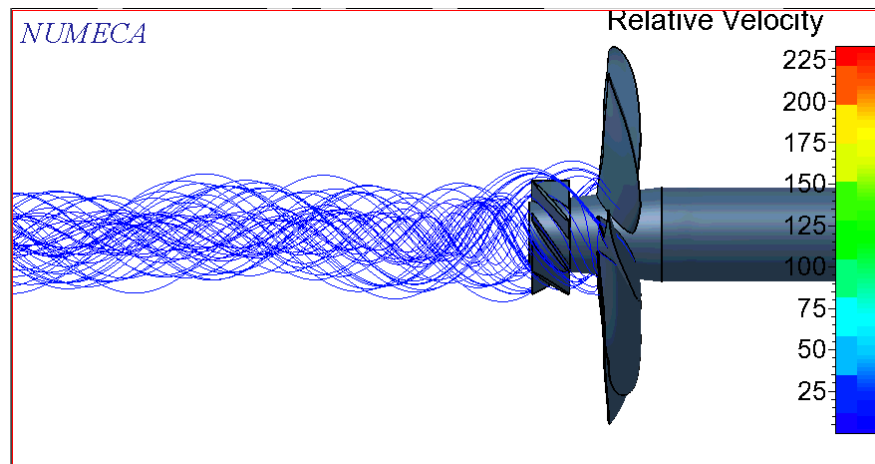
Gambar 4. 10 Aliran pada Variasi PBCF 01

- PBCF 02



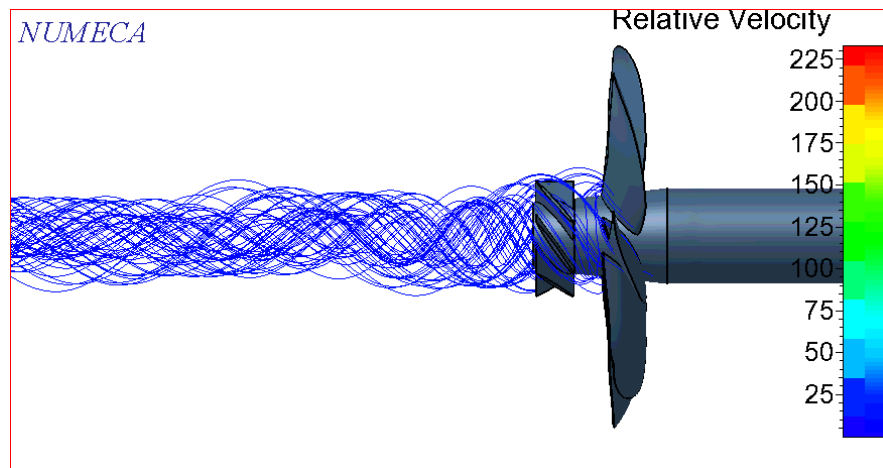
Gambar 4. 11 Aliran pada Variasi PBCF 02

- PBCF 03



Gambar 4. 12 Aliran pada Variasi PBCF 03

- PBCF 04



Gambar 4. 13 Aliran pada Variasi PBCF 04

Pada gambar 4.9 sampai gambar 4.13 dapat dilihat bahwa penambahan PBCF dapat mempengaruhi aliran *propeller*. Aliran pada gambar 4.9 membentuk pusaran yang memusat ke bagian tengah atau disebut juga dengan fenomena *hub vortex*. Sedangkan pada gambar 4.10 sampai gambar 4.13, hasil aliran mulai melebar dengan kata lain fenomena *hub vortex* mulai lenyap karena berhasil dimanfaatkan kembali menjadi energy putar.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, penulis menarik beberapa kesimpulan seperti berikut :

1. Penambahan PBCF pada seluruh variasi sudut *phase lag* dapat meningkatkan efisiensi dan mengurangi torsi *propeller*. Hal ini sudah sesuai dengan konsep PBCF dimana dapat meningkatkan *thrust*, mengurangi torsi dan meningkatkan efisiensi *propeller*. Namun, pada penelitian ini nilai *thrust* pada J0.8 dan J1.0 cenderung mengalami penurunan.

Performa *propeller* baik *thrust*, torsi maupun efisiensi yang dihasilkan di setiap variasi sudut *phase lag* tidak jauh berbeda. Sehingga, pemasangan PBCF pada INSEAN E-1619 *Submarine Propeller* seharusnya tidak perlu mempertimbangkan variasi sudut *phase lag*.

2. Penambahan PBCF di seluruh variasi sudut *phase lag* sangat efektif dalam mengurangi *hub vortex*

5.2 Saran

Dalam proses pengerjaan penelitian ini penulis menyarankan beberapa hal seperti berikut :

1. Dilakukan studi eksperimen *open water test* dari penelitian ini, agar dapat menghasilkan data yang lebih valid.
2. Dilakukan beberapa variasi lain pada parameter desain PBCF yang lain, agar dapat mengetahui PBCF yang paling optimal.
3. Dilakukan simulasi efek PBCF terhadap *noise propeller*. Agar dapat membuktikan konsep PBCF dimana dapat meningkatkan performa dan mengurangi *noise propeller*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Anon., n.d. *Airfoil Tools*. [Online]
Available at: <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=naca16006-il>
[Accessed 10 Mei 2020].
- Burunsuz, S., Ozden, M. C. & Ozden, Y. A., 2017. Four Quadrant Thrust and Torque Prediction of INSEAN E-1619 Generic Submarine Propeller for Submarine Maneuvering Simulations. *Fifth International Symposium on Marine Propulsors* .
- Carlton, J., 2007. *MARINE PROPELLERS AND PROPULSION*. Second ed. Great Britain: Elsevier Ltd..
- Chekab, M. A. F., Ghadimi, P. & Soroushan , M., 2013. Investigation of Different Methods of Noise Reduction for Submerged Marine Propellers and Their Classification. *American Journal of Mechanical Engineering*, Volume 1, pp. 34 - 42.
- Cleary, H. E., 1952. The Effects of Reynolds Number on the Application of NACA 16-Airfoil Characteristics to Propeller Design. *NACA TN 2591*.
- Fikry, I., 2019. *ANALISA PENGARUH PERUBAHAN SPAN TO CHORD RATIO PROPELLER BOSS CAP FINS PADA PROPELLER WAGENINGEN SERIES C4-40 DENGAN METODE CFD*, Surabaya: Departemen Teknik Sistem Perkapalan ITS.
- Gaggero, S., 2018. Design of PBCF Energy Saving Devices using Optimization Strategies. *Ocean Engineering*, Volume 159, pp. 517-538.
- Hsin, C. Y., Lin, B. & Lin, C. C., 2009. The Optimum Design of a Propeller Energy Saving Device by Computational Fluid Dynamics. *Computation Fluid Dynamics*.
- ITTC, 2011. ITTC-Recommended Procedures. *Fresh Water and Sea Water Properties*, p. 9.
- ITTC, 2014. ITTC-Recommended Procedures. *Open Water Test*, p. 8.
- Kuiper, G., 1992. *THE WAGENINGEN PROPELLER SERIES*. Netherlands: MARIN Publication.
- Lim, S. -. S., Kim, T. -. W., Lee, D. -. M. & Kim, S. -. Y., 2014. PARAMETRIC STUDY OF PROPELLER BOSS CAP FINS FOR CONTAINER SHIPS. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, Volume 6, pp. 187 - 205.
- Miasnikov, E., 1998. *What is known about the character of noise created by submarines?*. The Future of Russia's Strategic Nuclear Forces: Discussions and Arguments, ed. s.l.:fas.org.

Mizzi, K., Demirel, Y. K. & Banks, C., 2017. Design Optimisation of Propeller Boss Cap Fins for Enhanced Propeller Performance. *Applied Ocean Research*, Issue 62, pp. 210-222.

MOL Techno-Trade, L., 2018. *Energy saving device - Propeller boss cap fins*. [Online] Available at: <http://pbcf.jp> [Accessed Januari 2020].

Nanda, M. I., 2019. *ANALISA PENGARUH VARIASI SUDUT SKEW PROPELLER B-SERIES TERHADAP PERFORMA DAN KAVITASI MENGGUNAKAN METODE CFD*. Surabaya: Departemen Teknik Sistem Perkapalan - ITS.

Oloan, A. F. N., 2018. *Analisa Pengaruh Penambahan Boss Cap Fins pada Propeller B-Series dengan Pendekatan Metode CFD*, Surabaya: Departemen Teknik Sistem Perkapalan ITS.

Ouchi, K., Ogura, M., Tamashima, M. & Koizuka, H., 1988. A research and development of PBCF (propeller boss cap fins)-improvement of flow from propeller boss. *Journal of the Society of Naval Architecture of Japan*, Volume 163, pp. 66-78.

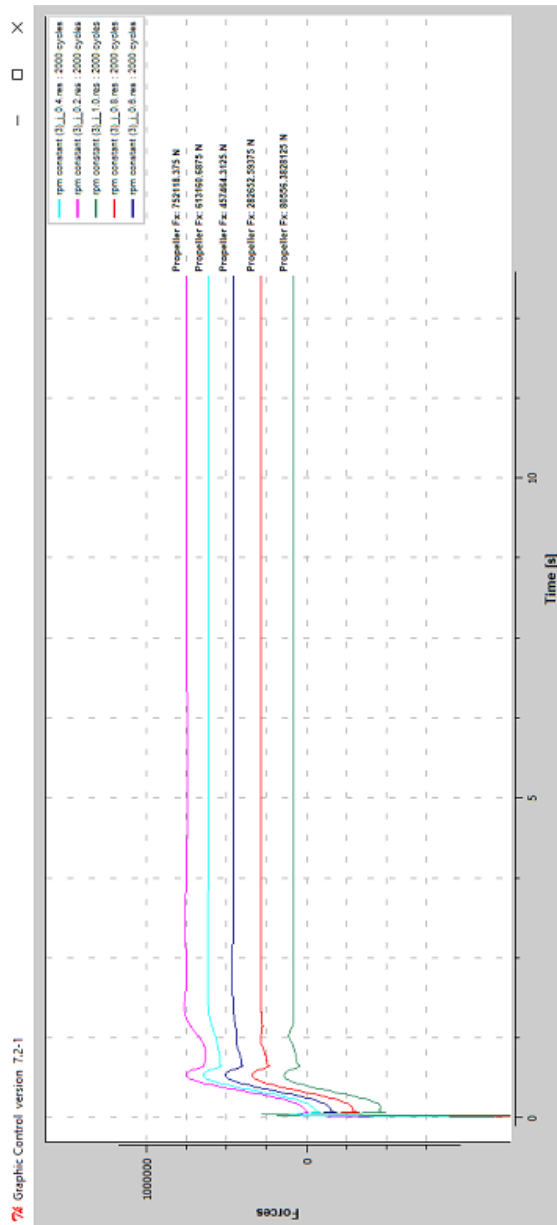
Schwer, E. L., 2008. *Is Your Mesh Refined Enough? Estimating Discretization Error Using GCI*. Bamberg: LS-DYNA Anwenderforum.

Scott, J., 2001. *NACA Airfoil Series*. [Online] Available at: <http://www.aerospaceweb.org/question/airfoils/q0041.shtml> [Accessed 5 Mei 2020].

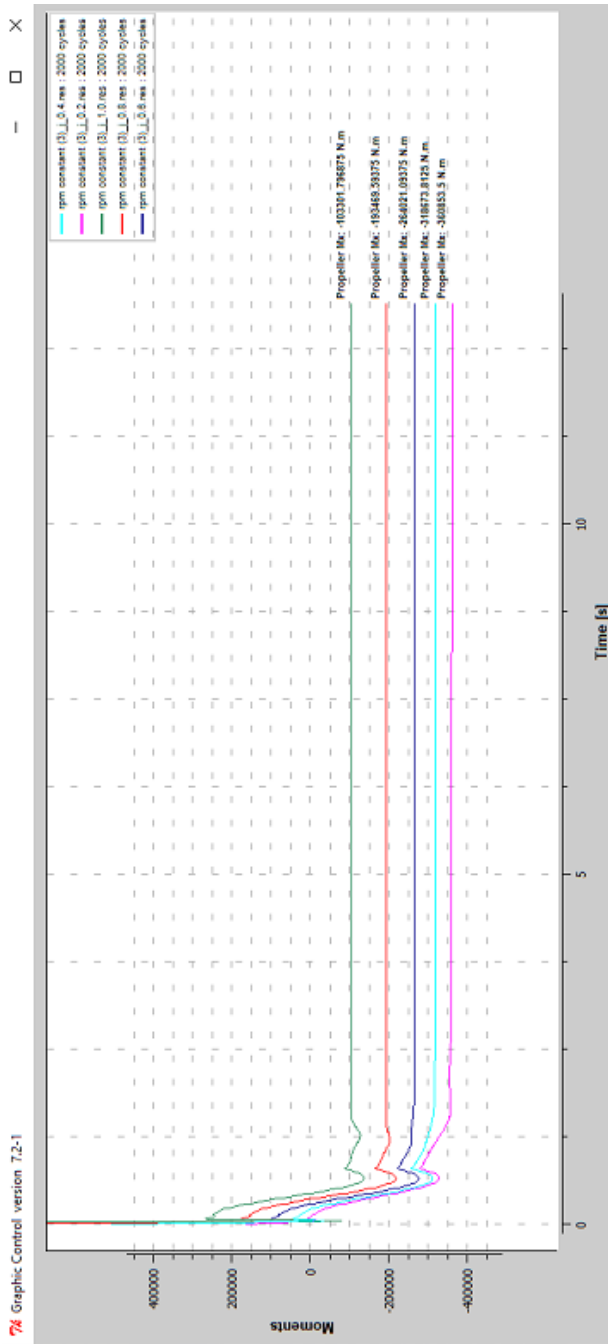
Yudo, H. & Jokosisworo, S., 2012. *STANDAR KEBISINGAN SUARA DI KAPAL*, Semarang: Program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

LAMPIRAN

1. Log Files Solver CFD
 - *Propeller* INSEAN E-1619
 - Hasil *Thrust*

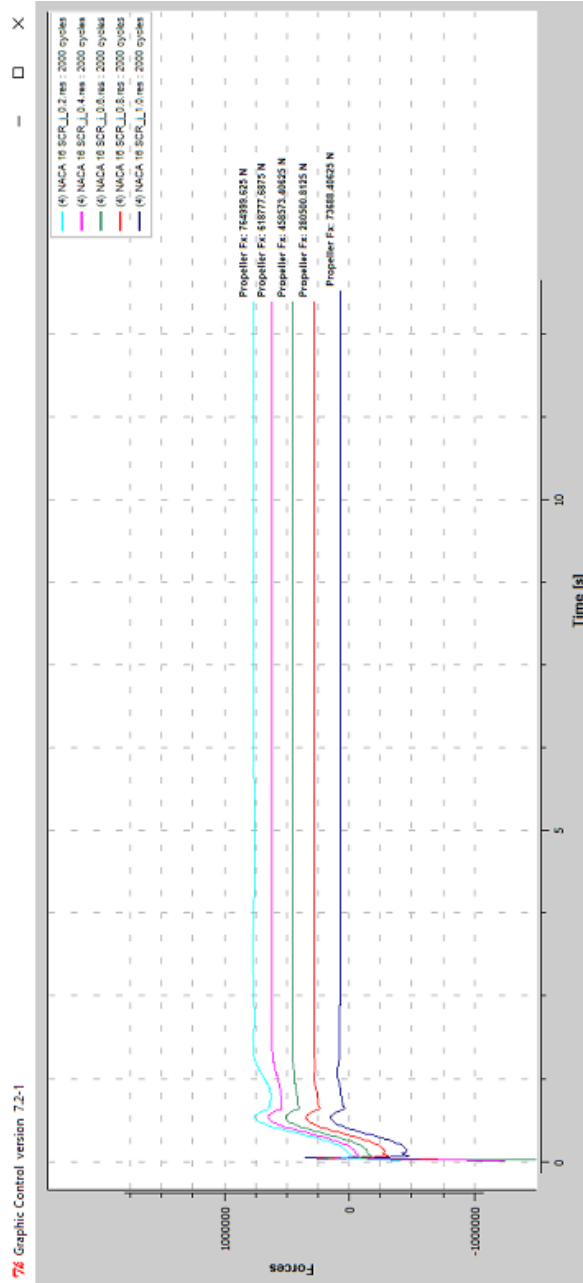


o Hasil Torsi

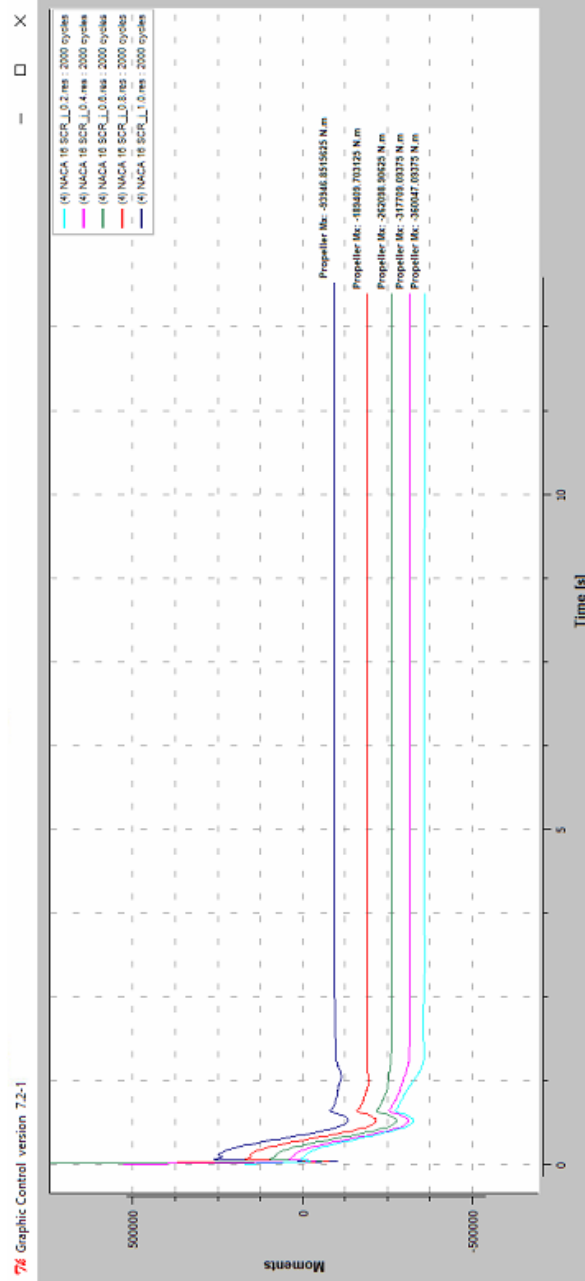


- Variasi PBCF 01 (*phase lag* 0°)

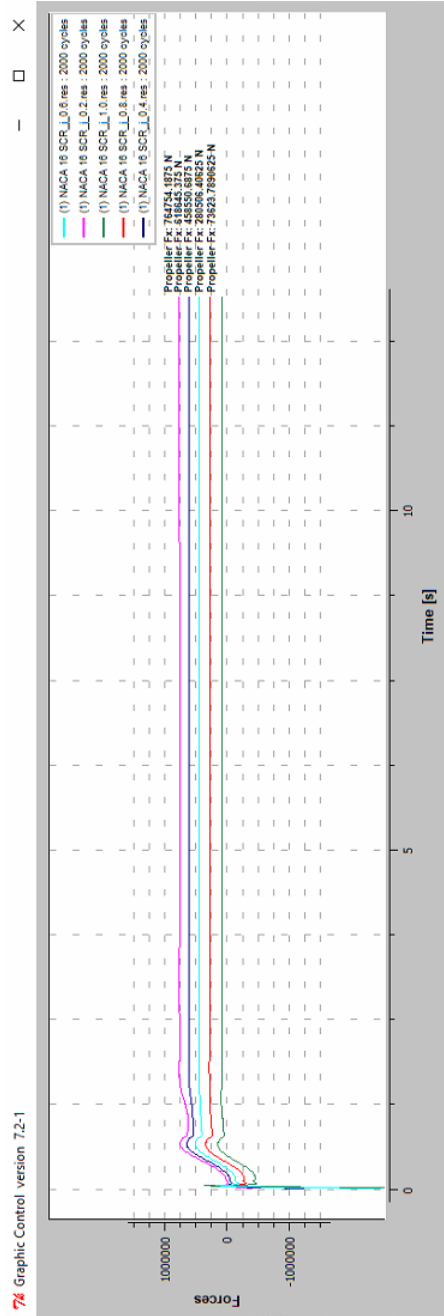
- Hasil *Thrust*



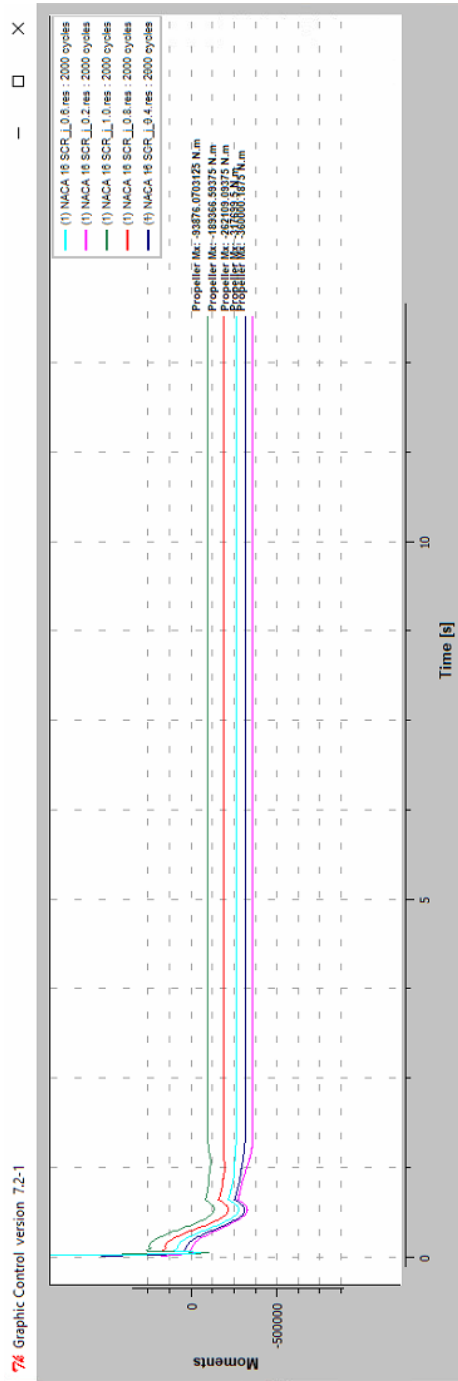
- Hasil Torsi



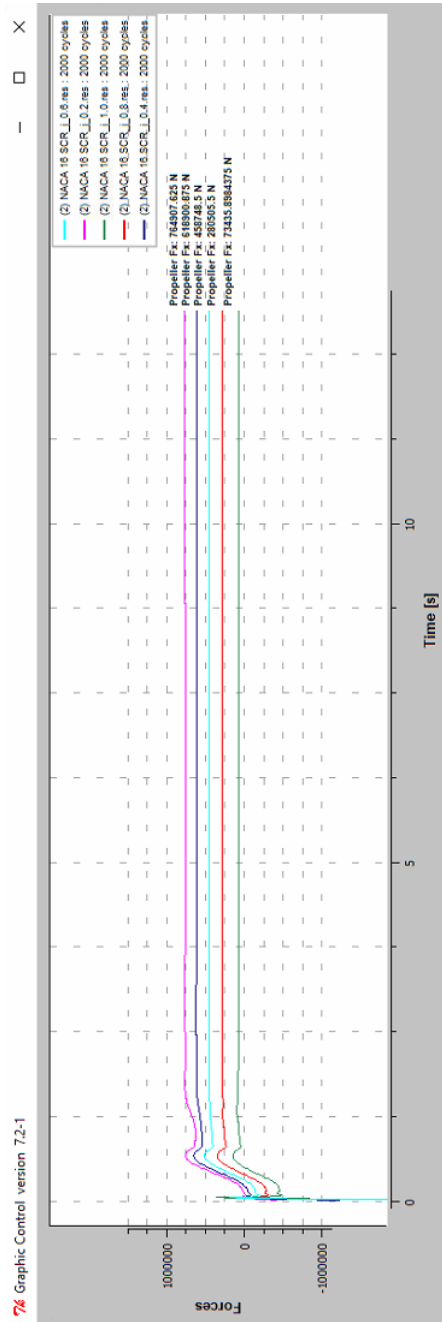
- Variasi PBCF 02 (*phase lag* 12.86°)
 - Hasil *Thrust*



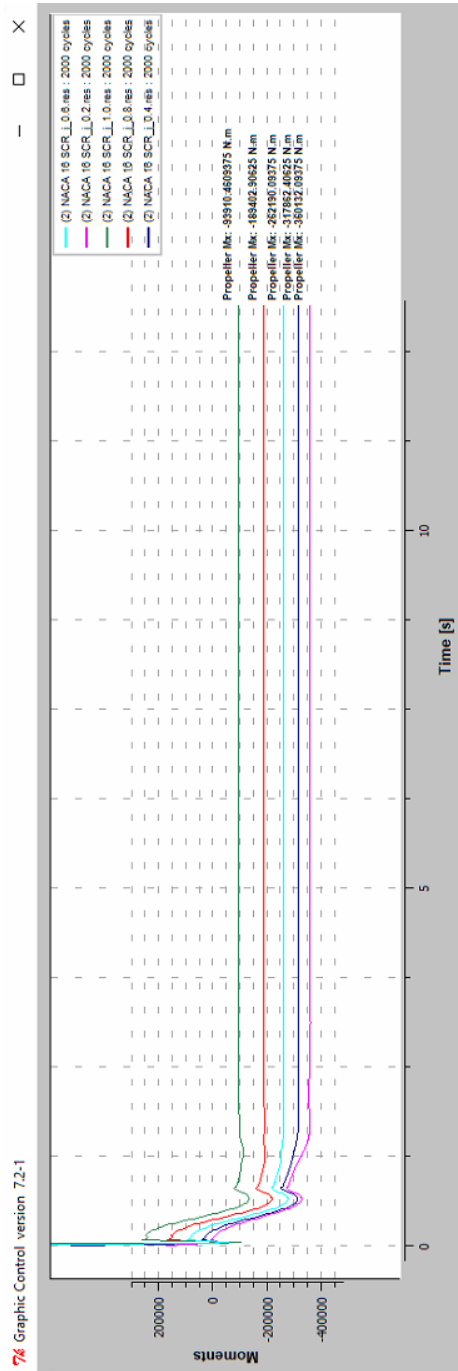
○ Hasil Torsi



- Variasi PBCF 03 (*phase lag* 25.72°)
 - Hasil *Thrust*

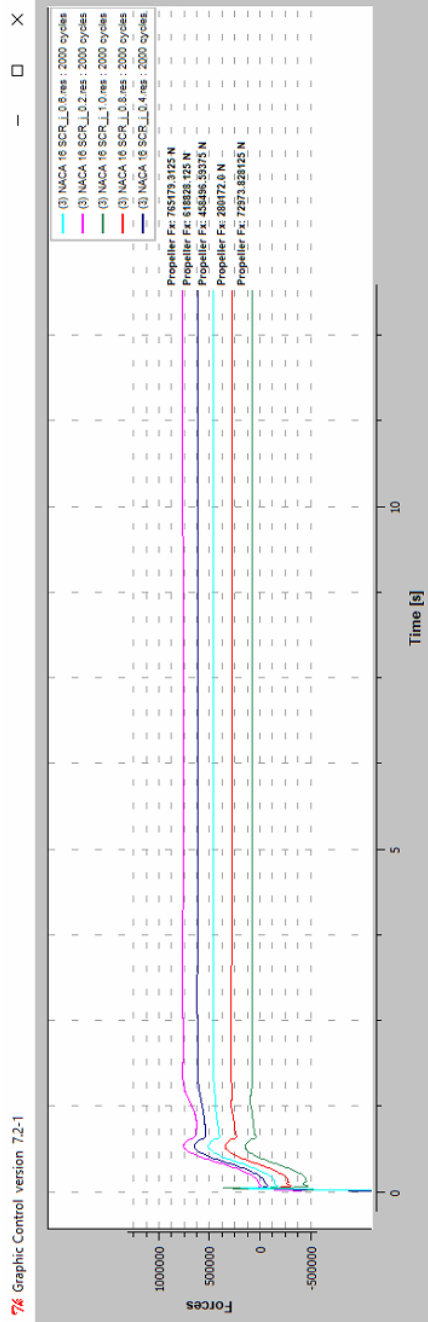


○ Hasil Torsi

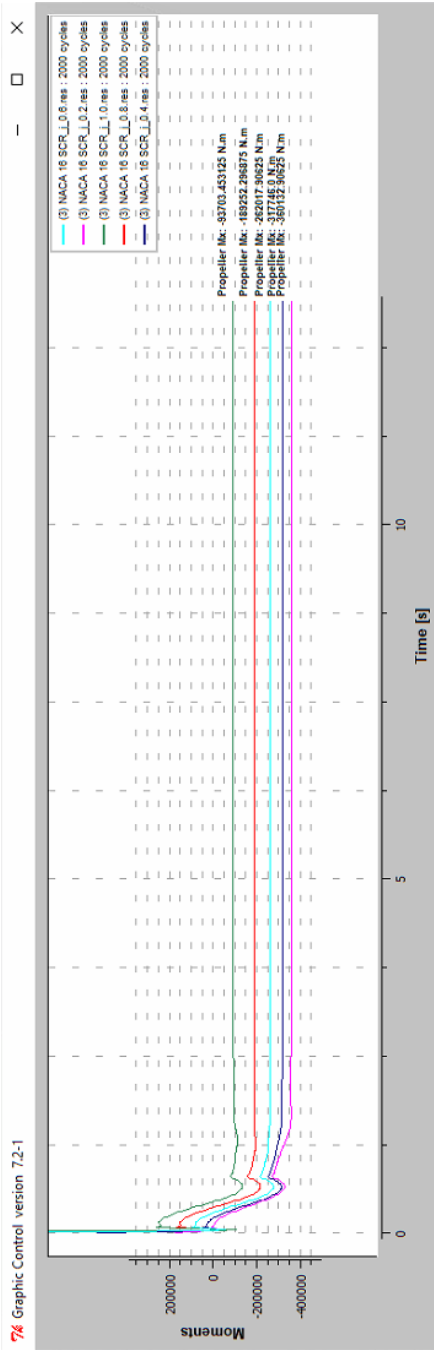


- Variasi PBCF 04 (*phase lag* 38.58°)

- Hasil *Thrust*

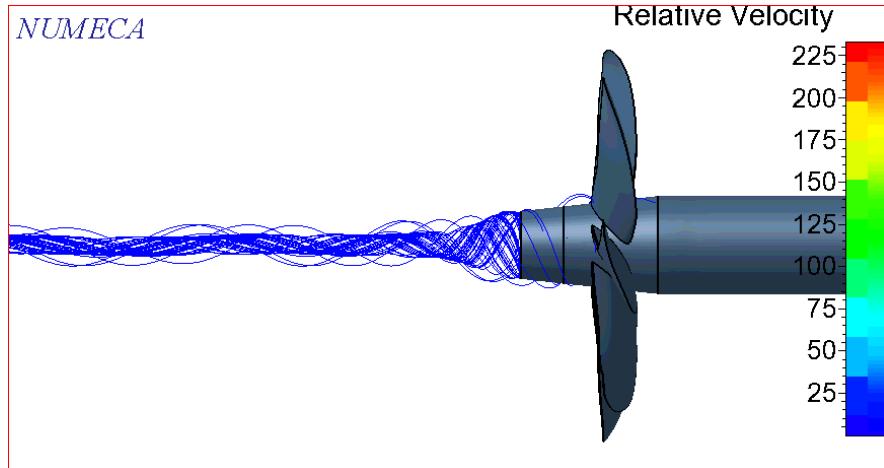


○ Hasil Torsi

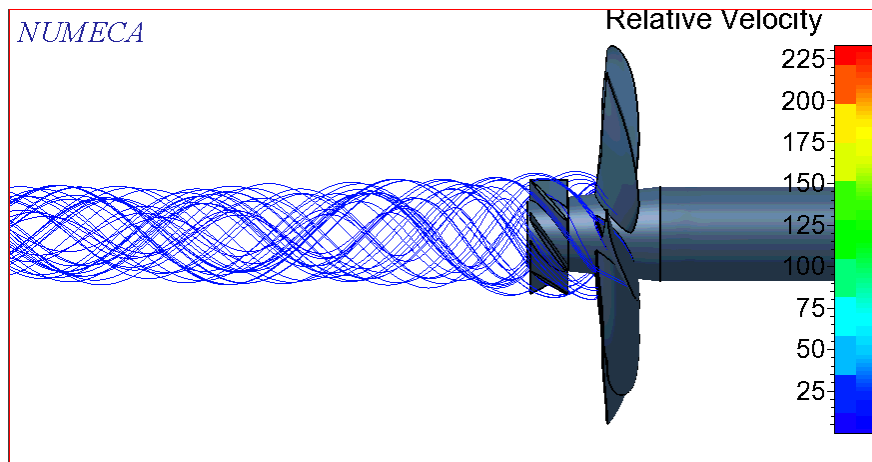


2. Hasil Aliran

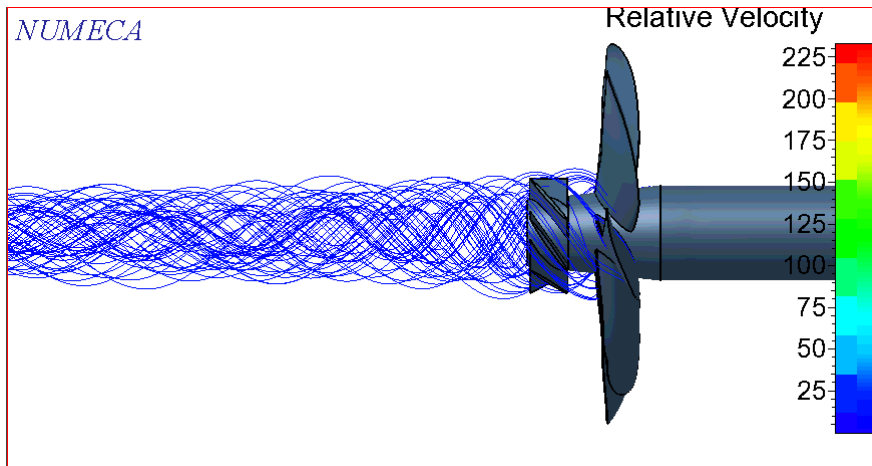
- INSEAN E-1619 Tanpa PBCF



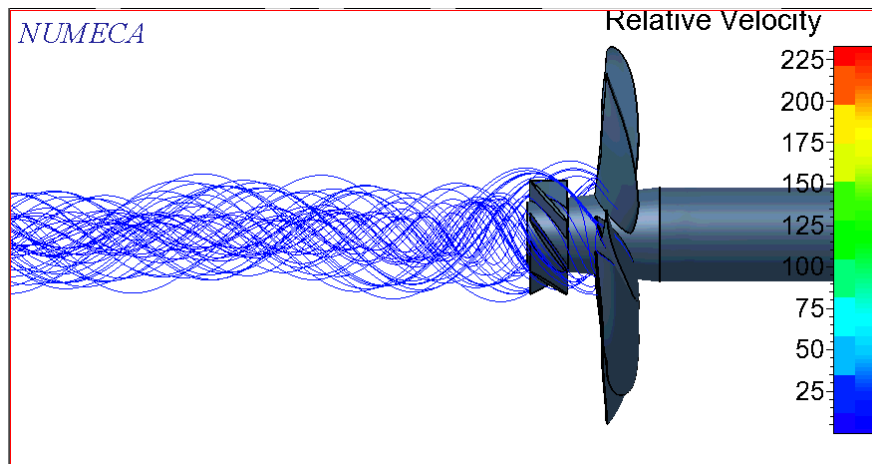
- PBCF 01 (*phase lag 0°*)



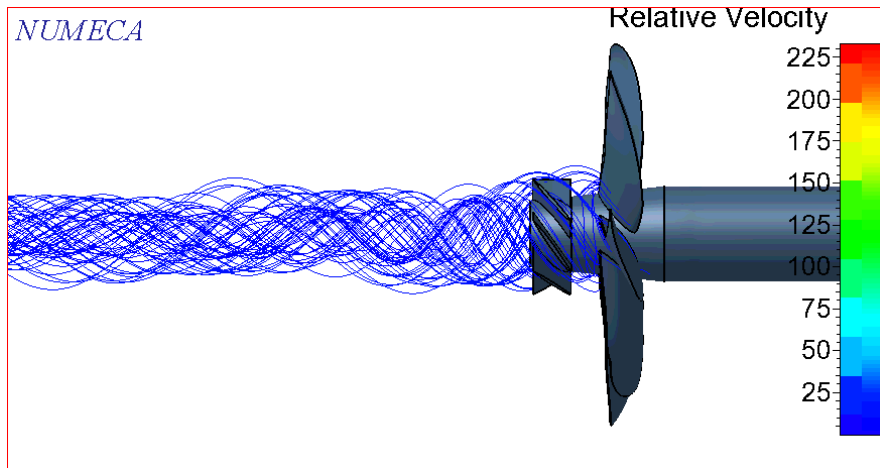
- PBCF 02 (*phase lag* 12.86°)



- PBCF 03 (*phase lag* 25.72°)



- PBCF 04 (*phase lag 38.58°*)



BIODATA PENULIS



Anson Novendra Pradana lahir pada 12 November 1998 di Kota Surabaya Provinsi Jawa Timur. Penulis telah menempuh pendidikan dasar formal di SD Negeri Ploso 5 Surabaya (2004 – 2010), SMP Negeri 6 Surabaya (2010 – 2013), SMA Negeri 1 Surabaya (2013 – 2016). Setelah menempuh pendidikan dasar, Penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.

Selama masa perkuliahan penulis aktif di beberapa organisasi diantaranya *Marine Manufacturing and Design Laboratory* (MMD) dan HIMASISKAL FTK-ITS. Penulis juga terdaftar dalam beberapa tim internasional seperti HYDRONE TEAM ITS pada ajang Hydrocontest 2018, Saint-Tropez, Perancis. Selain itu, Penulis juga aktif di NAWASENA ITS TEAM pada ajang *Worldwide Ferry Safety Design Competition* 2019, Bangkok, Thailand dan mendapat penghargaan juara 2. Untuk menambah pengalaman penulis juga mengikuti beberapa kegiatan internship di PT. Orela Shipyard; Badan Teknologi Hidrodinamika Indonesia dan Oshima Shipbuilding Co,Ltd, Jepang.

Pada akhir masa pendidikan di ITS, penulis mengerjakan tugas akhir berjudul ANALISA “ PENGARUH PENAMBAHAN *PROPELLER BOSS CAP FINS* PADA PERFORMA *SKEWED PROPELLER* DENGAN METODE CFD “di bawah bimbingan Irfan Syarief Arief, S.T.,M.T. dan Achmad Baidowi, S.T.,M.T. Dengan doa dan ikhtiar penulis berhasil menyelesaikan tugas akhir ini. Penulis juga berharap tugas akhir ini dapat memberikan kontribusi untuk dunia maritim di Indonesia.

Data diri :

Nama : Anson Novendra Pradana
 Alamat : Lebak Jaya 5 Utara no.93, Surabaya
 No. Telepon : 081233718144
 Alamat e-mail : ansonnovendra@gmail.com