



**SKRIPSI – ME184834**

**ANALISA PENGARUH PERUBAHAN *SPAN TO CHORD RATIO*  
*PROPELLER BOSS CAP FINS* PADA *PROPELLER* WAGENINGEN  
*SERIES C4-40* DENGAN METODE CFD**

Izzul Fikry  
NRP. 04211745000026

Dosen Pembimbing :  
Irfan Syarief Arief, S.T., M.T.  
Edi Jadmiko, S.T., M.T.

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019**





**SKRIPSI – ME184834**

**ANALISA PENGARUH PERUBAHAN *SPAN TO CHORD RATIO*  
*PROPELLER BOSS CAP FINS* PADA *PROPELLER* WAGENINGEN  
*SERIES C4-40* DENGAN METODE CFD**

Izzul Fikry  
NRP. 04211745000026

Dosen Pembimbing :  
Irfan Syarief Arief, S.T., M.T.  
Edi Jadmiko, S.T., M.T.

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



**FINAL PROJECT – ME184834**

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF CHANGES IN SPAN TO CHORD  
RATIO PROPELLER BOSS CAP FINS ON C4-40 WAGENINGEN  
SERIES PROPELLER WITH CFD METHOD**

Izzul Fikry  
NRP. 04211745000026

Supervisor :  
Irfan Syarief Arief, S.T., M.T.  
Edi Jadmiko, S.T., M.T.

**MARINE ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## LEMBAR PENGESAHAN

### **ANALISA PENGARUH PERUBAHAN *SPAN TO CHORD RATIO* *PROPELLER BOSS CAP FINS* PADA *PROPELLER* WAGENINGEN *SERIES C4-40* 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:

**IZZUL FIKRY**

NRP 0421 17 4500 0026

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Irfan Syarief Arief, S.T.,M.T.  
NIP. 196912251997021001
2. Edi Jadmiko, S.T.,M.T.  
NIP. 197807062008011012

(  )  
(  )

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



## LEMBAR PENGESAHAN

### **ANALISA PENGARUH PERUBAHAN *SPAN TO CHORD RATIO* *PROPELLER BOSS CAP FINS* PADA *PROPELLER* WAGENINGEN *SERIES C4-40* 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:

**IZZUL FIKRY**

NRP 0421 17 4500 0026

Disetujui oleh Kepala Departemen  
Teknik Sistem Perkapalan:

  
Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T.  
NIP. 197708022008011007



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**ANALISA PENGARUH PERUBAHAN *SPAN TO CHORD RATIO*  
PROPELLER BOSS CAP FINS PADA PROPELLER WAGENINGEN  
SERIES C4-40 DENGAN METODE CFD**

Nama Mahasiswa : Izzul Fikry  
NRP : 04211745000026  
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan  
Dosen Pembimbing : 1. Irfan Syarief Arief, S.T., M.T.  
2. Edi Jadmiko, S.T., M.T.

**ABSTRAK**

Kapal adalah salah satu alat transportasi yang sangat banyak digunakan di era ini. Untuk mengoperasikan sebuah kapal, tentunya dibutuhkan sumber energi berupa bahan bakar yang tidak sedikit. Untuk meminimalkan konsumsi bahan bakar maka dilakukanlah usaha untuk menurunkan 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*, *torque*, dan efisiensi, 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*.

**Kata kunci :** Perubahan *span to chord ratio*, *propeller boss cap fins*, CFD

“Halaman sengaja dikosongkan”

# ANALYSIS OF THE EFFECT OF CHANGES IN SPAN TO CHORD RATIO PROPELLER BOSS CAP FINS ON C4-40 WAGENINGEN SERIES PROPELLER WITH CFD METHOD

The Name of Student : Izzul Fikry  
NRP : 04211745000026  
Department : Marine Engineering  
Supervisor : 1. Irfan Syarief Arief, S.T., M.T.  
2. Edi Jadmiko, S.T., M.T.

## ABSTRACT

*Ships are one of the vehicles that are very widely used in this era. To operate a ship, the energy sources are needed in the form of fuel is not small. To minimize fuel consumption efforts are made to reduce fuel consumption. Propeller Boss Cap Fins is one of the efforts to increase efficiency, especially in the field of ship propulsion. Boss Cap Fins Propeller or commonly called PBCF is one of the technologies that replaces the boss cap propeller technology that first exists. Increasing efficiency can certainly have an impact on fuel consumption. This study describe changes in efficiency, thrust, torque and the phenomenon of flow in the propeller after changes in span to chord ratio of fins with a fin form in the form of NACA foil. This research begins with determining the dimensions of the propeller and its model. The next step is to design and draw the boss cap fins propeller by modifying the span to chord ratio of the fins. The final step is analyzing propeller performance with software based on fluid dynamic computation. It is believed that changes in the PBCF span to chord ratio can improve efficiency, thrust, propeller torque, and minimize the hub vortex. Simulations are carried out on four variations of the span to chord ratio, namely 0.17, 0.23, 0.29 and 0.34. From this study it can be concluded that the propeller boss cap fins can increase thrust, torque, and efficiency, but the changes of span to chord ratio PBCF have not much effect on thrust, torque, and propeller efficiency. Beside that, increasing the PBCF span to chord ratio can reduce the hub vortex on the propeller.*

**Keyword :** *The changes of span to chord ratio, propeller boss cap fins, CFD*

“Halaman sengaja dikosongkan”

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena telah memberikan rahmat, taufik, serta hidayah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul :

### ***“Analisa Pengaruh Perubahan Span To Chord Ratio Propeller Boss Cap Fins Pada Propeller Wageningen Series C4-40 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, ayah, kakak, dan keluarga yang telah memberikan dukungan sepenuh hati sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan tepat waktu.
2. Bapak Irfan Syarief Arief selaku dosen pembimbing pertama atas bimbingan yang telah diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
3. Bapak Edi Jadmiko selaku dosen pembimbing kedua atas bimbingan yang telah diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
4. Bapak Indra Ranu Kusuma selaku dosen wali atas nasihat yang telah diberikan kepada penulis.
5. Mas Achdri Fauzi N O dan mas Maful Suranto yang telah memberi masukan untuk memperlancar dalam penyelesaian skripsi ini.
6. Teman-teman LJ siskal gasal 2017 yang telah memberikan semangat dan berjuang bersama dalam pengerjaan skripsi.
7. Teman-teman siskal angkatan 2015 yang telah memberikan semangat, berbagi ilmu, dan berjuang bersama dalam pengerjaan skripsi.
8. Teknisi dan teman-teman lab MMD yang telah meberikan dukungan dalam penyelesaian skripsi ini.
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Saran dan kritik penulis harapkan untuk perbaikan diwaktu yang akan datang. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, 30 Juli 2019

Penulis

“Halaman sengaja dikosongkan”



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	1
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan.....	2
1.5. Manfaat Tugas Akhir.....	2
BAB II.....	3
TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1. <i>Propeller</i> .....	3
2.2. Karakteristik <i>Propeller</i> pada <i>Open water test</i> .....	4
2.3. Energy Saving Device.....	6
2.4. <i>Propeller Boss Cap Fins (PBCF)</i> .....	7
2.5. Efek Penambahan PBCF.....	8
2.6. Hub Vortex.....	9
2.7. Karakteristik Desain PBCF.....	12

2.8.	Computational Fluid Dynamic.....	14
2.9.	<i>Span to chord ratio</i> .....	14
2.10.	Installation Angle .....	17
2.11.	<i>Airfoil</i> .....	18
2.12.	<i>Coefficient Lift</i> .....	19
2.13.	<i>Coefficient Drag</i> .....	20
2.14.	Model PBCF.....	20
2.15.	Model <i>Propeller</i> Wageningen Series C4-40 .....	22
BAB III .....		25
METODOLOGI PENELITIAN .....		25
3.1.	Rencana Pelaksanaan.....	25
BAB IV .....		47
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....		47
4.1.	Model <i>Propeller</i> .....	47
4.2.	Karakteristik <i>Propeller</i> C4-40 pada <i>Propeller Open water test</i> .....	48
4.3.	Pemilihan <i>Foil</i> PBCF.....	51
4.4.	Geometri Model PBCF.....	57
4.5.	Model PBCF.....	58
4.6.	Analisa <i>Propeller Open water test</i> pada C4-40 dengan PBCF.....	60
BAB V .....		85
KESIMPULAN DAN SARAN .....		85
5.1.	Kesimpulan.....	85
5.2.	Saran.....	85
DAFTAR PUSTAKA.....		87

LAMPIRAN..... 89

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. <i>Propeller</i> .....	3
Gambar 2. 2. Karakteristik <i>Open water test Propeller C4-40</i> .....	6
Gambar 2. 3. PBCF Sebagai Energy Saving Device .....	7
Gambar 2. 4. <i>Perbedaan Boss Propeller tanpa dan dengan PBCF</i> .....	8
Gambar 2. 5. Konsumsi bahan bakar kapal dengan dan tanpa PBCF .....	9
Gambar 2. 6. Fenomena Aliran Pada <i>Propeller</i> .....	10
Gambar 2. 7. Fenomena Aliran Pada <i>Propeller</i> Setelah Penambahan PBCF.....	10
Gambar 2. 8. Bidang aliran dan gaya hidrodinamik <i>propeller</i> dan PBCF .....	11
Gambar 2. 9. Konfigurasi <i>fin</i> .....	13
Gambar 2. 10. Pemasangan <i>fin</i> .....	13
Gambar 2. 11. Kemiringan <i>fin</i> .....	13
Gambar 2. 12. Geometri PBCF .....	15
Gambar 2. 13. Geometri <i>Fin</i> PBCF.....	16
Gambar 2. 14. Pemasangan <i>Fin</i> .....	17
Gambar 2. 15. Installation Angle PBCF.....	18
Gambar 2. 16. Model <i>Propeller Boss Cap Fins</i> .....	21
Gambar 2. 17. Model <i>Propeller Boss Cap Fins</i> .....	21
Gambar 2. 18. Model <i>Propeller Boss Cap Fins</i> .....	22
Gambar 2. 19. Model <i>Propeller C4-40</i> dengan P/D 1.4 .....	22
Gambar 2. 20. Model <i>Propeller C4-40</i> tanpa Boss Cap <i>Fins</i> .....	23
Gambar 2. 21. <i>Propeller Wageningen C4-40</i> yang Telah Dibuat .....	48
Gambar 3. 1. Alur pengerjaan tugas akhir .....	25

Gambar 3. 2. <i>Propeller C4-40</i> .....	26
Gambar 3. 3. Penentuan Batasan (Domain).....	27
Gambar 3. 4. Hasil Meshing.....	27
Gambar 3. 5. Initial mesh .....	28
Gambar 3. 6. Adapt to Geometry .....	28
Gambar 3. 7. Snap to Geometry .....	29
Gambar 3. 8. Optimize .....	30
Gambar 3. 9. Viscous Layer .....	30
Gambar 3. 10. Hasil Meshing.....	31
Gambar 3. 11. General Parameters .....	31
Gambar 3. 12. FLuid Model .....	32
Gambar 3. 13. Flow Model.....	32
Gambar 3. 14. Boundary Condition.....	33
Gambar 3. 15. Body Definition .....	33
Gambar 3. 16. Body Motion.....	34
Gambar 3. 17. Mesh Management.....	35
Gambar 3. 18. Initial Solution .....	36
Gambar 3. 19. Control Variable .....	36
Gambar 3. 20. Output Parameter .....	37
Gambar 3. 21. Hasil Simulasi Force .....	38
Gambar 3. 22. Hasil Simulasi Moment.....	38
Gambar 3. 23. Hasil Simulasi Aliran pada J 0.8 .....	39
Gambar 3. 24. Validasi <i>Meshing Thrust</i> .....	40
Gambar 3. 25. Validasi <i>Meshing Torque</i> .....	40

Gambar 3. 26. Geometri <i>fin</i> PBCF .....	41
Gambar 3. 27. Validasi <i>Thrust</i> .....	42
Gambar 3. 28. Validasi Torque .....	43
Gambar 3. 29. <i>Phase Lag</i> .....	45
Gambar 4. 1. Model <i>Propeller</i> C4-40 dengan P/D 1.4 .....	47
Gambar 4. 2. Karakteristik <i>Open water test Propeller</i> C4-40 Tanpa PBCF .....	49
Gambar 4. 3. Perbedaan model <i>propeller</i> C4-40 .....	51
Gambar 4. 4. Pemilihan <i>foil</i> NACA 16.....	53
Gambar 4. 5. Grafik CL vs CD NACA 16006 il .....	53
Gambar 4. 6. Grafik Cl/Cd vs Alpha NACA 16006 il .....	54
Gambar 4. 7. Grafik Cd vs Alpha NACA 16006 il.....	55
Gambar 4. 8. Bentuk <i>foil</i> NACA 16006 .....	56
Gambar 4. 9. Geometri PBCF .....	57
Gambar 4. 10. PBCF dengan <i>Span to chord ratio</i> 0.17 .....	58
Gambar 4. 11. PBCF dengan <i>Span to chord ratio</i> 0.23 .....	59
Gambar 4. 12. PBCF dengan <i>Span to chord ratio</i> 0.29 .....	59
Gambar 4. 13. PBCF dengan <i>Span to chord ratio</i> 0.34 .....	60
Gambar 4. 14. Karakteristik <i>Open Water Test Propeller</i> C4-40 dengan STC 0.17 .	61
Gambar 4. 15. Perbandingan Kurva <i>Open Water Test</i> pada <i>Propeller</i> C4-40 dengan STC PBCF 0.17 terhadap <i>propeller</i> C4-40.....	61
Gambar 4. 16. Karakteristik <i>Open water test Propeller</i> C4-40 dengan STC 0.23 ...	63
Gambar 4. 17. Perbandingan Kurva <i>open water test</i> pada <i>Propeller</i> C4-40 dengan STC PBCF 0.23 terhadap <i>propeller</i> C4-40.....	63
Gambar 4. 18. Karakteristik <i>Open water test Propeller</i> C4-40 dengan STC 0.29 ...	65

Gambar 4. 19. Perbandingan Kurva <i>open water test</i> pada <i>Propeller C4-40</i> dengan <i>STC PBCF 0.29</i> terhadap <i>propeller C4-40</i> .....	65
Gambar 4. 20. Karakteristik <i>Open water test Propeller C4-40</i> dengan <i>STC 0.34</i> ...	67
Gambar 4. 21. Perbandingan Kurva <i>open water test</i> pada <i>Propeller C4-40</i> dengan <i>STC PBCF 0.34</i> terhadap <i>propeller C4-40</i> .....	67
Gambar 4. 22. Persentase Kenaikan <i>Thrust Propeller C4-40</i> dengan <i>PBCF</i> .....	68
Gambar 4. 23. Persentase Kenaikan <i>Torque Propeller C4-40</i> dengan <i>PBCF</i> .....	69
Gambar 4. 24. Persentase Kenaikan Efisiensi <i>Propeller C4-40</i> dengan <i>PBCF</i> .....	69
Gambar 4. 25. Perbandingan Karakteristik <i>Open water test Propeller C4-40</i> dan <i>Propeller C4-40</i> dengan <i>PBCF</i> .....	71
Gambar 4. 26. Aliran Pada <i>Propeller C4-40</i> dengan <i>J0.6</i> .....	72
Gambar 4. 27. Aliran Pada <i>J0.6</i> dengan <i>Span to chord ratio PBCF 0.17</i> .....	72
Gambar 4. 28. Aliran Pada <i>J0.6</i> dengan <i>Span to chord ratio PBCF 0.23</i> .....	73
Gambar 4. 29. Aliran Pada <i>J0.6</i> dengan <i>Span to chord ratio PBCF 0.29</i> .....	73
Gambar 4. 30. Aliran Pada <i>J0.6</i> dengan <i>Span to chord ratio PBCF 0.34</i> .....	74
Gambar 4. 31. Aliran Pada <i>Propeller C4-40</i> dengan <i>J0.8</i> .....	74
Gambar 4. 32. Aliran Pada <i>J0.8</i> dengan <i>Span to chord ratio PBCF 0.17</i> .....	75
Gambar 4. 33. Aliran Pada <i>J0.8</i> dengan <i>Span to chord ratio PBCF 0.23</i> .....	75
Gambar 4. 34. Aliran Pada <i>J0.8</i> dengan <i>Span to chord ratio PBCF 0.29</i> .....	76
Gambar 4. 35. Aliran Pada <i>J0.8</i> dengan <i>Span to chord ratio PBCF 0.34</i> .....	76
Gambar 4. 36. Aliran Pada <i>Propeller C4-40</i> dengan <i>J1.0</i> .....	77
Gambar 4. 37. Aliran Pada <i>J1.0</i> dengan <i>Span to chord ratio PBCF 0.17</i> .....	77
Gambar 4. 38. Aliran Pada <i>J1.0</i> dengan <i>Span to chord ratio PBCF 0.23</i> .....	78
Gambar 4. 39. Aliran Pada <i>J1.0</i> dengan <i>Span to chord ratio PBCF 0.29</i> .....	78
Gambar 4. 40. Aliran Pada <i>J1.0</i> dengan <i>Span to chord ratio PBCF 0.34</i> .....	79



Gambar 4. 41. Aliran Pada <i>Propeller</i> C4-40 dengan J1.2.....	79
Gambar 4. 42. Aliran Pada J1.2 dengan <i>Span to chord ratio</i> PBCF 0.17 .....	80
Gambar 4. 43. Aliran Pada J1.2 dengan <i>Span to chord ratio</i> PBCF 0.23 .....	80
Gambar 4. 44. Aliran Pada J1.2 dengan <i>Span to chord ratio</i> PBCF 0.29 .....	81
Gambar 4. 45. Aliran Pada J1.2 dengan <i>Span to chord ratio</i> PBCF 0.34 .....	81
Gambar 4. 46. Aliran Pada <i>Propeller</i> C4-40 dengan J1.4.....	82
Gambar 4. 47. Aliran Pada J1.4 dengan <i>Span to chord ratio</i> PBCF 0.17 .....	82
Gambar 4. 48. Aliran Pada J1.4 dengan <i>Span to chord ratio</i> PBCF 0.23 .....	83
Gambar 4. 49. Aliran Pada J1.4 dengan <i>Span to chord ratio</i> PBCF 0.29 .....	83
Gambar 4. 50. Gambar 4. 40. Aliran Pada J1.4 dengan <i>Span to chord ratio</i> PBCF 0.34 .....	84

“Halaman sengaja dikosongkan”

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Ukuran <i>Fin</i> PBCF.....	15
Tabel 2. 2. <i>Span to chord ratio</i> .....	16
Tabel 2. 3. Tabel Penggunaan <i>Foil</i> NACA Series .....	19
Tabel 3. 1. Validasi <i>Meshing</i> .....	39
Tabel 3. 2. Ukuran <i>Foil</i> .....	42
Tabel 3. 3. Validasi <i>Meshing Propeller</i> dengan PBCF.....	42
Tabel 3. 4. Variable penelitian PBCF.....	43
Tabel 3. 5. Efisiensi pada radius PBCF 0.31R.....	44
Tabel 3. 6. Efisiensi pada radius PBCF 0.29R.....	44
Tabel 3. 7. Efisiensi pada radius PBCF 0.28R.....	44
Tabel 3. 8. Hasil analisa <i>propeller</i> dengan PBCF dengan <i>phase lag</i> berbeda.....	45
Tabel 3. 9. Hasil analisa <i>propeller</i> C4-40 tanpa PBCF.....	45
Tabel 3. 10. Penentuan <i>phase lag</i> PBCF.....	46
Tabel 4. 1. Variasi Koefisien <i>Advance</i> .....	48
Tabel 4. 2. Hasil Analisa <i>Propeller</i> C4-40 .....	48
Tabel 4. 3. Perbedaan nilai <i>KT</i> .....	49
Tabel 4. 4. Perbedaan nilai <i>10KQ</i> .....	49
Tabel 4. 5. Perbedaan nilai $\eta_o$ .....	51
Tabel 4. 6. <i>Kinematic viscosity of salt water</i> .....	52
Tabel 4. 7. Data umum <i>foil</i> .....	55
Tabel 4. 8. Koordinat <i>foil</i> NACA 16006 il .....	56
Tabel 4. 9. Batasan diameter PBCF.....	57

Tabel 4. 10. Geometri <i>Fin</i> PBCF.....	58
Tabel 4. 11. Analisa <i>Propeller</i> C4-40 dengan Span to Chord Rasio PBCF 0.17 .....	60
Tabel 4. 12. Analisa <i>Propeller</i> C4-40 dengan Span to Chord Rasio PBCF 0.23 .....	62
Tabel 4. 13. Analisa <i>Propeller</i> C4-40 dengan Span to Chord Rasio PBCF 0.29 .....	64
Tabel 4. 14. Analisa <i>Propeller</i> C4-40 dengan Span to Chord Rasio PBCF 0.34 .....	66
Tabel 4. 15. Rata-rata peningkatan <i>thrust</i> , <i>torque</i> , dan efisiensi .....	70

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang Masalah

Dunia maritim semakin hari semakin maju. Banyak teknologi yang dikembangkan atau ditemukan pada era ini. Salah satu hal yang menarik untuk terus didalami adalah mengenai propulsi.

Terdapat berbagai teknologi dalam bidang propulsi. Namun, tujuan utama dari semua teknologi tersebut adalah efisiensi energi, atau biasa disebut *Energy Saving*. Energi menjadi perhatian utama dari para pengembang. Hal tersebut disebabkan karena jika energi dapat dihemat, tentunya biaya yang dikeluarkan akan semakin berkurang.

Salah satu *energy saving device* bidang propulsi adalah *Propeller Boss Cap Fins*, atau biasa disebut PBCF. PBCF adalah salah satu cara untuk menambah performa dari *propeller*. Pada beberapa percobaan yang telah dilakukan, terdapat peningkatan dalam hal efisiensi. Pada percobaan yang dilakukan di University of Strathclyde, efisiensi meningkat sebesar 1.3 %. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan sebelumnya dengan *propeller* B-series oleh Fauzi pada tahun 2018 dengan metode CFD, efisiensi meningkat 0.60%, *Thrust* meningkat 3.21%, dan torsi meningkat 2.64%. Tentu hal ini merupakan hal yang sangat menarik untuk diaplikasikan pada *propeller* C-series. Untuk itu, penulis mencoba menganalisa lebih dalam mengenai pengaruh dari perubahan komponen PBCF, yaitu *span to chord ratio* PBCF terhadap performa *propeller* C-series.

### 1.2. Rumusan Masalah

Pada percobaan sebelumnya yang dilakukan oleh Fauzi pada tahun 2018, PBCF diimplementasikan pada *propeller* wageningen B-series. Penelitian tersebut menganalisa *thrust*, *torque*, efisiensi, dan aliran. Maka pada penelitian kali ini rumusan masalah yang diangkat adalah :

1. Bagaimana perbedaan efisiensi, daya dorong, dan torsi pada *propeller* wageningen C4-40 setelah perubahan *span to chord ratio* pada *propeller boss cap fins* ?
2. Bagaimana pengaruh perubahan *span to chord ratio* pada *propeller boss cap fins* terhadap aliran fluida yang dihasilkan ?

### 13. Batasan Masalah

Untuk memfokuskan permasalahan yang akan diangkat dengan tujuan untuk terlaksananya analisa dengan baik maka dilakukan pembatasan masalah. Batasan-batasan masalah tersebut diantaranya adalah:

1. *Propeller* yang digunakan adalah *propeller* yang telah ada (produksi) dengan data,  
Type : C4 – 40  
Diameter : 316.6 mm  
Shaft Diameter : 80 mm  
Jumlah Blade : 4  
Expanded Are Ratio : 0.4  
Pitch/Diameter : 1.4  
Speed : 900 RPM
2. Tidak melakukan perhitungan *propeller* C4-40
3. Data *propeller* didapatkan dari *propeller* yang telah dibuat
4. Analisa pada saat keadaan *open water test*.

### 14. Tujuan

1. Mengetahui perbedaan efisiensi, daya dorong dan torsi pada *propeller* wageningen C4-40 setelah perubahan *span to chord ratio* pada *propeller boss cap fins*.
2. Mengetahui pengaruh perubahan *span to chord ratio propeller boss cap fins* terhadap aliran fluida yang dihasilkan.

### 15. Manfaat Tugas Akhir

Hasil dari penelitian ini dapat memberikan pengetahuan tentang efek penambahan *propeller boss cap fins* terhadap performa (*thrust, torque*, efisiensi, dan aliran) pada *propeller* wageningen C4-40.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. *Propeller*

Propeler adalah jenis baling-baling yang memberikan kekuatan dengan mengubah rotasi gerak ke gaya dorong. Propeler terdiri dari satu atau lebih *blade* dan beroperasi seperti perputaran sekrup. Perbedaan tekanan antara depan dan belakang permukaan *airfoil* berbentuk *blade* menghasilkan akselerasi udara atau air dibelakang *blade*. *Propeller* pada umumnya diletakkan pada kedudukan serendah mungkin di bagian belakang kapal. Propeler harus mempunyai diameter sedemikian rupa sehingga bila kapal dalam keadaan bermatan penuh baling-baling dapat terbenam secara memadai sehingga dapat menghindari terjadinya fenomena terikutnya udara (*airdrawing*) dan pemacuan baling-baling (*racing*) ketika kapal mengalami gerakan anguk. (Abidin, 2011).



Gambar 2. 1. *Propeller*  
(Sumber : [www.generalpropeller.com](http://www.generalpropeller.com))

Terdapat berbagai jenis *propeller* yang ada saat ini. Beberapa jenis *propeller* tersebut adalah, *propeller* wageningen B-series, C-series, dan D-series. *The B-series comprise the open water characteristics of conventional fixed pitch propellers (FPPs) designed for merchant ships with various numbers of blades and blade area ratios at different pitch. For several of these propellers, also the four-quadrant characteristics were published by MARIN in the sixties and seventies of the last century* (Dang, 2012).

In order to obtain systematic information on propeller open water characteristics, the Wageningen B-series Propellers were designed in such a way that the number of blades, the blade area ratio and the pitch-diameter ratio were systematically varied, while the blade contour, the skew distribution, the pitch distribution (constant, except for the 4-bladed), the rake angle ( $15^\circ$ ), the hub-propeller diameter ratio ( $1/6$ , except for the 3-bladed propellers which has a ratio of 18%) and the section profiles are all kept the same for the whole series (Dang, 2013). Pada umumnya propeller B series memiliki P/D 0.5 hingga 1.4, jumlah blade 2 hingga 7, dan Ae/Ao 0.3 hingga 1.05 (Febriyanto, 2013).

While designing the Wageningen C- and D-series propellers, an extensive propeller database search has been carried out first. A large number of practical propeller designs, made with up-to-date hydrodynamic knowledge was gathered. Studies have been carried out to relate the propeller main dimensions to the typical applications, so that each design of the blades reflects a certain scenario of a typical application. For instance, a 4-bladed CPP with large blade area and high pitch ratio's is often used for the fast ferries and cruise ships where the comfort is weighted more than the efficiency; a 4-bladed CPP with small blade area and low pitch ratio's is typically used by transport ships with a large amount of harbour activities, such a shuttle tanker, where the propulsive efficiency is essentially important, rather than the comfort. The 5-bladed CPP designs are aimed at applications for the navies (Dang, 2013).

## 2.2. Karakteristik Propeller pada Open water test

Terdapat beberapa komponen yang dihasilkan dalam *open water test*. Komponen tersebut adalah, koefisien *thrust* (KT), koefisien *torque* (KQ), koefisien *advance* (J), dan *efficiency* ( $\eta_0$ ). Berikut adalah persamaan komponen-komponen tersebut.

### 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

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

(Wirai, 2016)



#### 4. *Efficiency Propeller Open Water*

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

Dimana,

$$\text{THP} = T \times V_a \quad (4)$$

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

(Carlton, 2012)

Sehingga,

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

dimana,

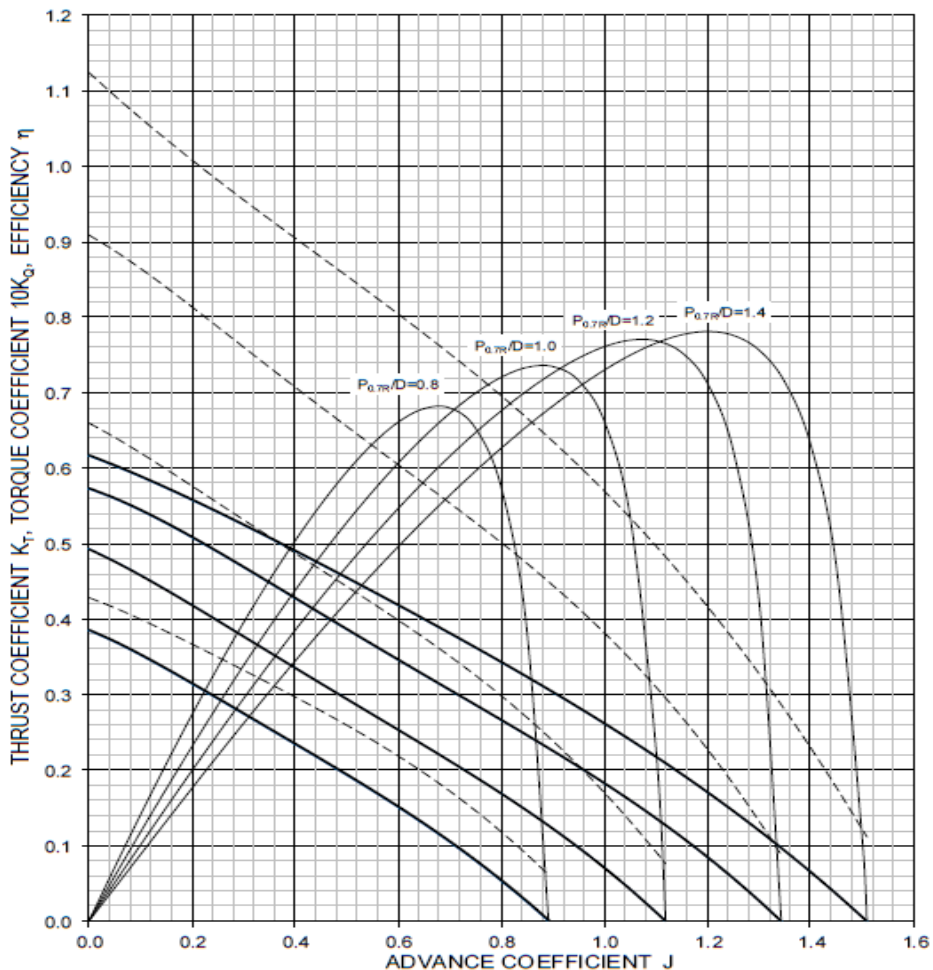
$V_a$  = kecepatan fluida yang melewati baling-baling (m/s)

$n$  = putaran baling-baling (Rps)

$D$  = diameter baling-baling (m)

$\rho$  = massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ )

(Wirai, 2016)



Gambar 2. 2. Karakteristik *Open water test Propeller C4-40*  
(Sumber : Dang, 2013)

### 23. Energy Saving Device

Energy Saving Devices (ESD) merupakan alat yang berfungsi menekan hambatan gesek yang terjadi pada buritan kapal, sehingga energi yang dikeluarkan oleh mesin kapal tidak mengalami loss energy yang cukup berpengaruh pada konsumsi bahan bakar. Teknologi ESD ini mulai dikenal pada awal pertengahan abad 20 dan populer pada akhir tahun 1970-an dan awal tahun 1980-an saat terjadinya krisis minyak di dunia. Banyak desain alat ini yang berkembang dan sebagian besar diantaranya tidak cocok untuk digunakan pada kapal saat awal inovasi ini muncul. Dengan beberapa alat ini yang tidak diterima di kapal, tentu ada alasan yang membuat alat ini tidak dipakai di kapal. Di antaranya karena masih

adanya kegagalan konstruksi pada ESD, adanya cacat pada pembuatan ESD hingga terbatasnya desain ESD yang tak memungkinkan dipasang di kapal ukuran tertentu. Namun seiring berjalannya waktu, pengembangan ESD ini dapat diterima di hampir semua jenis kapal. Aplikasi ESD ini dapat menekan kerugian yang timbul dari desain stern kapal yang dibangun. Di antaranya mengurangi hambatan gesek pada aliran yang mengalir di propeler dan badan kapal, dan mengurangi kehilangan gaya dorong propeler atau propeler loss (Putra, 2016).

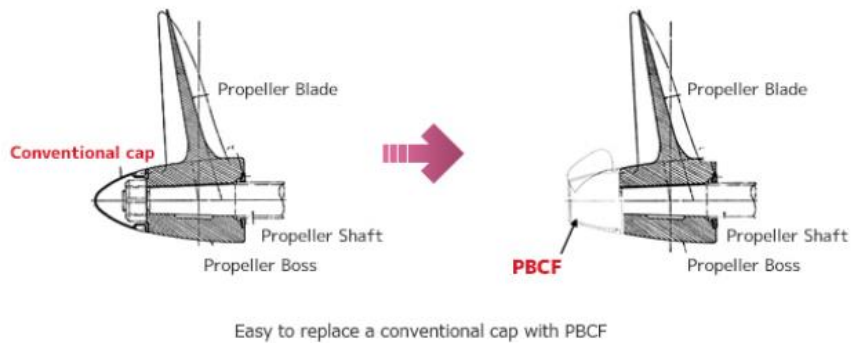
Salah satu energy saving devices adalah PBCF. PBCF adalah ESD yang mengurangi konsumsi bahan bakar kapal 3 hingga 5% dengan memecah hub vortex yang dihasilkan dibelakang *propeller* yang berputar dan membenahi efisiensi *propeller*. Keefektifan PBCF telah diakui di seluruh dunia dan telah dipasang pada lebih dari 3000 kapal sejak diperkenalkan pada 1987 (mol.co.jp, 2017).



Gambar 2. 3. PBCF Sebagai Energy Saving Device  
(Sumber : www.mol.co.jp)

#### 2.4. **Propeller Boss Cap Fins (PBCF)**

*Propeller boss can fin* adalah ESD (*Energy Saving Device*), yang dikembangkan oleh Mitsui OSK. Terdiri dari baling-baling pendek yang dipasangkan pada boss *propeller* yang dapat mengubah energi dari hub vortex menjadi tambahan torsi dan gaya dorong, ditransmisikan kembali ke poros. Peningkatan pada sistem propulsi dapat mencapai 4% sampai 5% tergantung pada uji coba. 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).



Gambar 2. 4. Perbedaan Boss Propeller tanpa dan dengan PBCF  
(Sumber : [www.pbcf.jp](http://www.pbcf.jp))

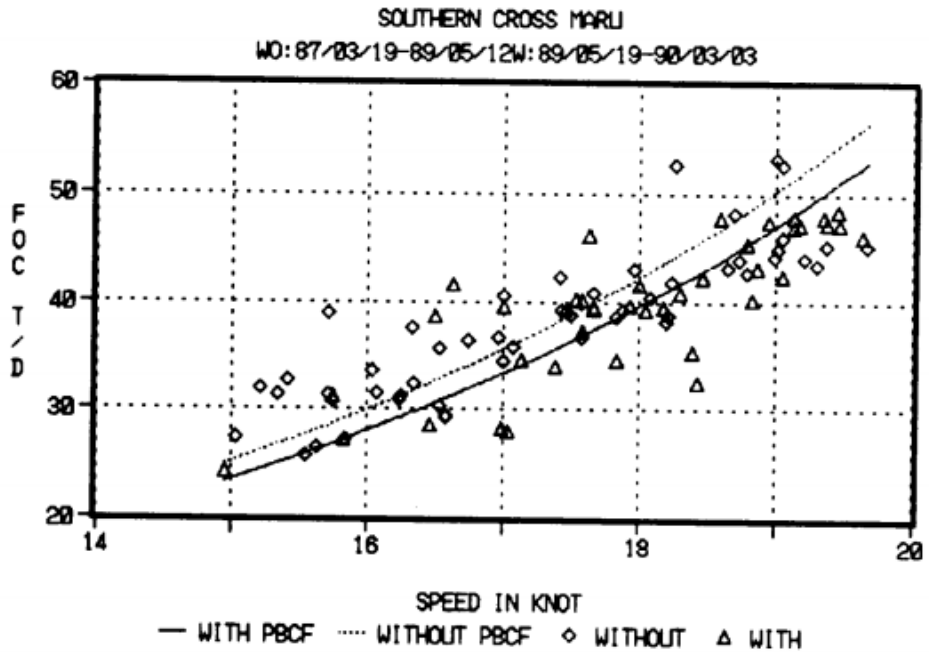
25. **Efek Penambahan PBCF**

Penambahan *propeller boss cap fins* dapat memberikan efek yaitu :

- a. Dapat memberikan efek perbaikan (rectification) untuk pengurangan hub vortex.
- b. Mereduksi efek torsi untuk mendapatkan gaya hidrodinamik kearah putaran *propeller*.
- c. Efek peningkatan *thrust* pada *propeller* utama untuk pengurangan hub vortex.

(Ouchi dalam Oloan,2018)

Penambahan PBCF pada *propeller* tentunya juga akan berdampak pada konsumsi bahan bakar kapal.

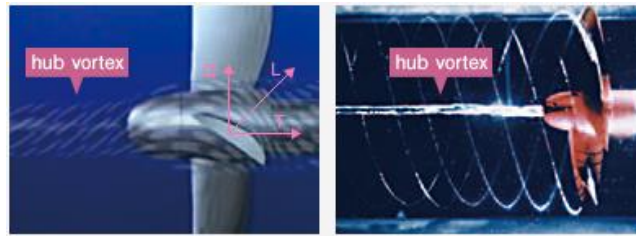


Gambar 2. 5. Konsumsi bahan bakar kapal dengan dan tanpa PBCF  
(Sumber : Ouchi, 1988)

Gambar 2.5 menunjukkan efek penambahan PBCF terhadap konsumsi bahan bakar. Data 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 (Ouchi, 1988). Dari gambar 2.5, dapat dilihat bahwa penambahan PBCF dapat mengurangi konsumsi bahan bakar kapal.

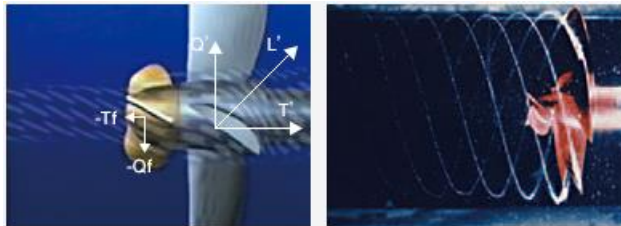
## 2.6. Hub Vortex

Hub vortex pada *propeller* memiliki tekanan kebawah yang kuat pada inti tengahnya. Tekanan kebawah pada inti tersebut menyebabkan menurunnya *thrust* (Ochi, 2009). Perbedaan kecepatan aliran antara atas dan bawah surface daun *propeller* menghasilkan aliran kebawah yang kuat dari trailing edge pada daun *propeller*. Kombinasi aliran kebawah pada setiap daun akan menjadi hub vortex yang kuat. Sekitar 10% energy hilang oleh hub vortex ini (PBCF, 2019).

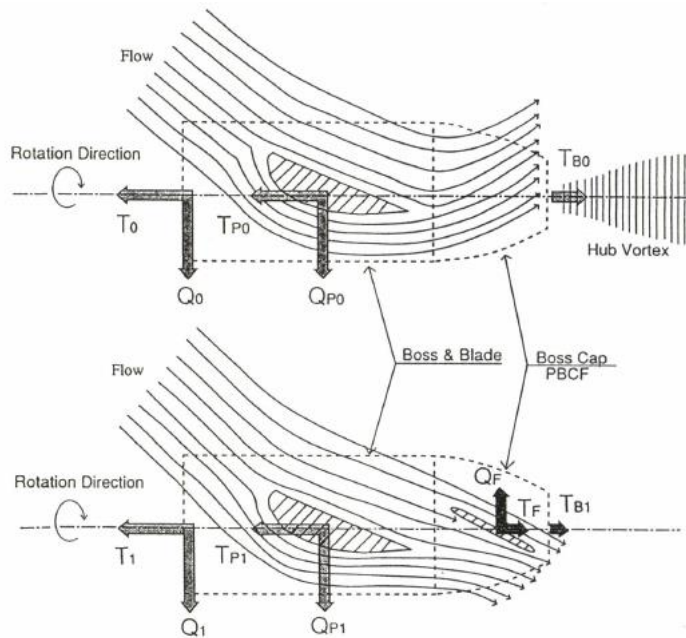


Gambar 2. 6. Fenomena Aliran Pada *Propeller*  
(Sumber : [www.pbcf.jp](http://www.pbcf.jp))

Aliran ke bawah yang kuat dari ujung trailing edge *propeller* akan diperbaiki oleh *fin* PBCF untuk mengurangi komponen yang dapat diputar, sehingga *fin* akan menghasilkan gaya yang mengurangi torsi poros *propeller* sebesar 3% dan lebih banyak. Selain itu, daya dorong akan meningkat lebih dari 1% (PBCF, 2019).



Gambar 2. 7. Fenomena Aliran Pada *Propeller* Setelah Penambahan PBCF  
(Sumber : [www.pbcf.jp](http://www.pbcf.jp))



Gambar 2. 8. Bidang aliran dan gaya hidrodinamik *propeller* dan PBCF  
(Sumber : Ouchi, 1988)

Gambar 2.8 menunjukkan bidang aliran di sekitar *propeller* dan PBCF. Gambar tersebut menjelaskan skema gaya fluida yang bekerja pada blade *propeller*, PBCF, dan bos.

Seperti yang ditunjukkan pada gambar tersebut, dimana

$T, Q$  = Gaya dorong dan torsi

$T_P, Q_P$  = Gaya dorong dan torsi yang dihasilkan oleh blade

$T_F, Q_F$  = Gaya dorong dan torsi yang dihasilkan oleh PBCF,

$T_B$  = Gaya dorong yang dihasilkan pada boss

Dimana angka 0 adalah *propeller* tanpa PBCF dan angka 1 adalah *propeller* dengan PBCF. Pada *propeller* tanpa PBCF, aliran akan melewati blade *propeller* dan berbelok karena efek perputaran pada *propeller*. Aliran yang berbelok tersebut menciptakan aliran yang lebih cepat daripada putaran *propeller*, sehingga menciptakan aliran kuat dibelakang hub. Pada *propeller* dengan PBCF aliran akan diteruskan pada *fin* PBCF, sehingga aliran yang keluar akan melambat dan

menyebabkan menghilangnya pusaran arus pada hub. Dari gambar 2.8 didapatkan persamaan,

$$\begin{aligned}\Delta T &= T_1 - T_0 \\ &= (T_{P1} + T_f + T_{B1}) - (T_{P0} + T_{B0}) \\ &= (T_{P1} - T_{P0}) + T_f + (T_{B1} - T_{B0})\end{aligned}$$

Didapatkan,

$$\begin{aligned}\Delta T_P &= T_{P1} - T_{P0} \\ \Delta T_B &= T_{B1} - T_{B0}\end{aligned}$$

Sehingga dapat disimpulkan,

$$\Delta T = T_P - T_f - T_B$$

Pada torsi juga didapatkan persamaan,

$$\begin{aligned}\Delta Q &= Q_1 - Q_0 \\ &= (Q_{P1} + Q_f) - Q_{P0} \\ &= (Q_{P1} - Q_{P0}) + Q_f\end{aligned}$$

Didapatkan,

$$\Delta Q_P = Q_{P1} - Q_{P0}$$

Sehingga dapat disimpulkan,

$$\Delta Q = Q_P + Q_f$$

(Ouchi,1988)

## 2.7. Karakteristik Desain PBCF

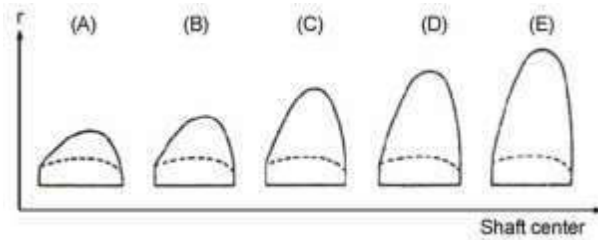
Berdasarkan analisa yang dihasilkan pada desain parameter PBCF melalui open water *propeller* efficiency from the experimental test dan analisa berbasis CFD, maka parameter desain PBCF adalah sebagai berikut :

1. Bentuk dari *fin*
2. Rasio radius PBCF terhadap *propeller*

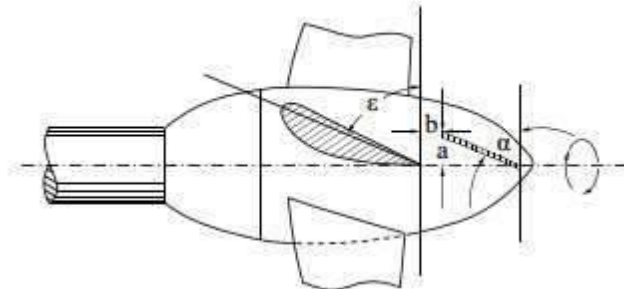


3. Posisi pemasangan boss terhadap cap pada leading edge cap *fin*
4. Sudut pemasangan *fin*
5. Jumlah *fin*
6. Kemiringan *fin*

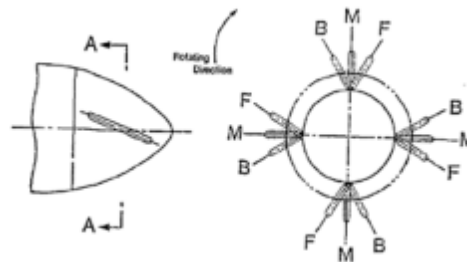
(Oloan, 2018)



Gambar 2. 9. Konfigurasi *fin*  
(Sumber : Oloan, 2018)



Gambar 2. 10. Pemasangan *fin*  
(Sumber : Oloan, 2018)



Gambar 2. 11. Kemiringan *fin*  
(Sumber : Oloan, 2018)

Beberapa saran desain geometri PBCF sebagai berikut :

1. Jumlah *fin* harus sama dengan jumlah blade pada *propeller*
2. The phase difference between the cross-section of the blade root and *fins* varies from - 20 to 30 degrees
3. Diameter *fin* tidak lebih dari 33% diameter *propeller*
4. Leading edge *fin* ditempatkan diantara root dua blade

(Oloan, 2018)

## 2.8. Computational Fluid Dynamic

*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. (Trimulyono, 2013)

Proses CFD dibagi menjadi tiga, yakni pre-processing, computation, dan post-processing (ITTC, 2011). 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 (Suranto, 2018).

## 2.9. Span to chord ratio

Kurt Mizzi dalam penelitiannya menggunakan beberapa ukuran *fin*. Berikut adalah ukuran *fin* tersebut.

Tabel 2. 1. Ukuran *Fin* PBCF

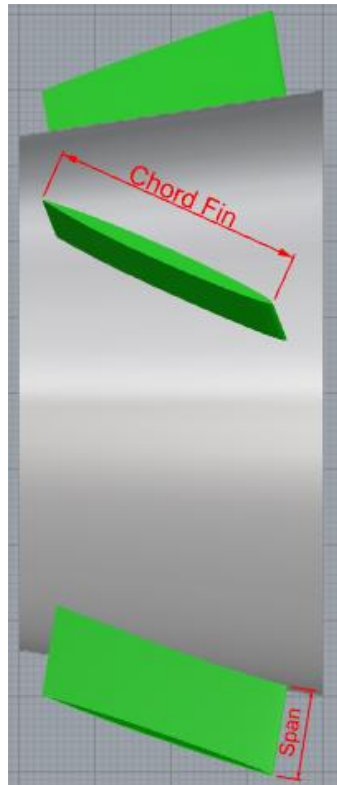
Fin Height (m)	Fin length (m)
0.32	0.53
0.19	0.58
0.35	0.51
0.22	0.46
0.08	0.64

(Sumber : Mizzi, 2017)



Gambar 2. 12. Geometri PBCF  
(Sumber : Mizzi, 2017)

Pada penelitian itu, *fin* yang digunakan berupa *foil*, sehingga penyebutan length dan height diganti menjadi chord dan span.



Gambar 2. 13. Geometri *Fin* PBCF  
(Sumber : dokumen pribadi)

Dari penjelasan diatas, maka rasio span to chord yang digunakan adalah 0.13 hingga 0.69 (Mizzi, 2017)

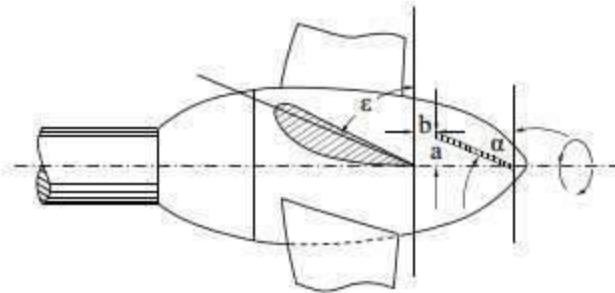
Tabel 2. 2. *Span to chord ratio*

Fin Height (Span) (m)	Fin length (Chord) (m)	Span to Chord Ratio
0.32	0.53	0.60
0.19	0.58	0.33
0.35	0.51	0.69
0.22	0.46	0.48
0.08	0.64	0.13

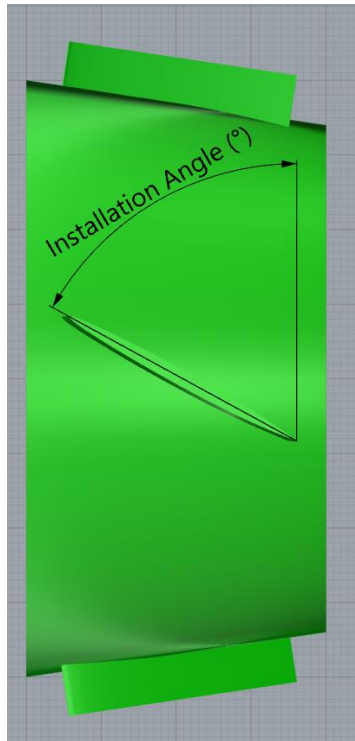
(Sumber : Mizzi, 2017)

### 2.10. Installation Angle

*Installation angle* adalah salah satu komponen selain *chord to span ratio* yang memberikan efek besar terhadap efisiensi *propeller* daripada parameter desain lainnya (Lim, 2014). Pada gambar 2.14, *installation angle* ditunjukkan dengan symbol ' $\alpha$ '.



Gambar 2. 14. Pemasangan *Fin*  
(Sumber : Ouchi, 1988)



Gambar 2. 15. Installation Angle PBCF  
(Sumber : Dokumen pribadi)

### 2.11. **Airfoil**

Terdapat berbagai macam bentuk *airfoil* saat ini. Salah satunya adalah *foil* yang dibuat oleh National Advisory Committee for Aeronautics (NACA). Terdapat beberapa model *foil* yang ada. Berikut adalah tabel yang berisi mengenai penggunaan secara umum model NACA *foil*.

Tabel 2. 3. Tabel Penggunaan *Foil* NACA Series

Family	Advantages	Disadvantages	Applications
4-Digit	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Good stall characteristics</li> <li>2. Small center of pressure movement across large speed range</li> <li>3. Roughness has little effect</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Low maximum lift coefficient</li> <li>2. Relatively high drag</li> <li>3. High pitching moment</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. General aviation</li> <li>2. Horizontal tails</li> </ol> <p><i>Symmetrical:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>3. Supersonic jets</li> <li>4. Helicopter blades</li> <li>5. Shrouds</li> <li>6. Missile/rocket fins</li> </ol>
5-Digit	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Higher maximum lift coefficient</li> <li>2. Low pitching moment</li> <li>3. Roughness has little effect</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Poor stall behavior</li> <li>2. Relatively high drag</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. General aviation</li> <li>2. Piston-powered bombers, transports</li> <li>3. Commuters</li> <li>4. Business jets</li> </ol>
16-Series	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Avoids low pressure peaks</li> <li>2. Low drag at high speed</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Relatively low lift</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aircraft propellers</li> <li>2. Ship propellers</li> </ol>
6-Series	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. High maximum lift coefficient</li> <li>2. Very low drag over a small range of operating conditions</li> <li>3. Optimized for high speed</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. High drag outside of the optimum range of operating conditions</li> <li>2. High pitching moment</li> <li>3. Poor stall behavior</li> <li>4. Very susceptible to roughness</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Piston-powered fighters</li> <li>2. Business jets</li> <li>3. Jet trainers</li> <li>4. Supersonic jets</li> </ol>
7-Series	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Very low drag over a small range of operating conditions</li> <li>2. Low pitching moment</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reduced maximum lift coefficient</li> <li>2. High drag outside of the optimum range of operating conditions</li> <li>3. Poor stall behavior</li> <li>4. Very susceptible to roughness</li> </ol>	Seldom used
8-Series	Unknown	Unknown	Very seldom used

(Sumber : [www.airfoiltools.com](http://www.airfoiltools.com))

Dari tabel diatas, dapat diketahui bahwa yang digunakan pada kapal adalah NACA *foil* 16-Series. Maka, seri *foil* PBCF yang digunakan pada *propeller* C4-40 adalah *foil* NACA 16-Series.

### 2.12. Coefficient Lift

Koefisien *lift* adalah bilangan yang menunjukkan besar kecilnya gaya angkat pada suatu benda. Semakin besar koefien lift, makan gaya angkat pada suatu benda akan semakin besar. Berikt adalah persamaan dari koefisien lift :

$$C_L = \frac{F_{Lift}}{\frac{1}{2} \rho V^2 S}$$

Dimana,

CL	= Koefisien lift	
Flift	= Gaya lift	(N)
$\rho$	= massa jenis fluida	(kg/m <sup>3</sup> )
V	= kecepatan fluida	(m/s)
S	= luas permukaan	(m <sup>2</sup> )

(Hartanto,2015)

### 2.13. *Coefficient Drag*

Koefisien drag adalah bilangan yang menunjukkan besar kecilnya tahanan fluida yang diterima oleh suatu benda. Koefisien drag yang kecil menunjukkan hambatan fluida yang diterima benda saat berjalan adalah kecil, dan begitu juga sebaliknya. Berikut adalah persamaan dari koefisien drag :

$$C_D = \frac{F_{Drag}}{\frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \times S}$$

Dimana,

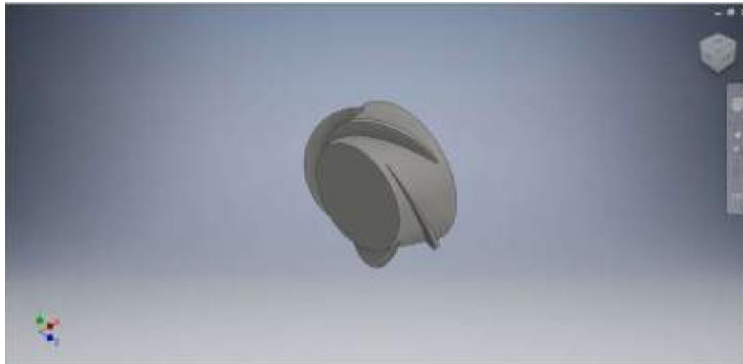
CD	= Koefisien drag	
Fdrag	= Gaya drag	(N)
$\rho$	= massa jenis fluida	(kg/m <sup>3</sup> )
V	= kecepatan fluida	(m/s)
S	= luas permukaan	(m <sup>2</sup> )

(Hartanto,2015)

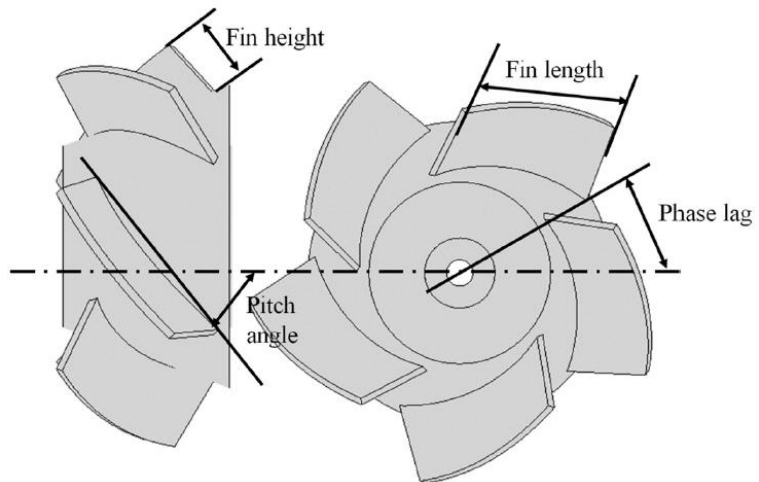
### 2.14. **Model PBCF**

Terdapat berbagai model PBCF yang digunakan di seluruh dunia, berikut adalah beberapa contohnya





Gambar 2. 16. Model *Propeller Boss Cap Fins*  
(Sumber : Oloan, 2018)



Gambar 2. 17. Model *Propeller Boss Cap Fins*  
(Sumber : Seo, 2016)

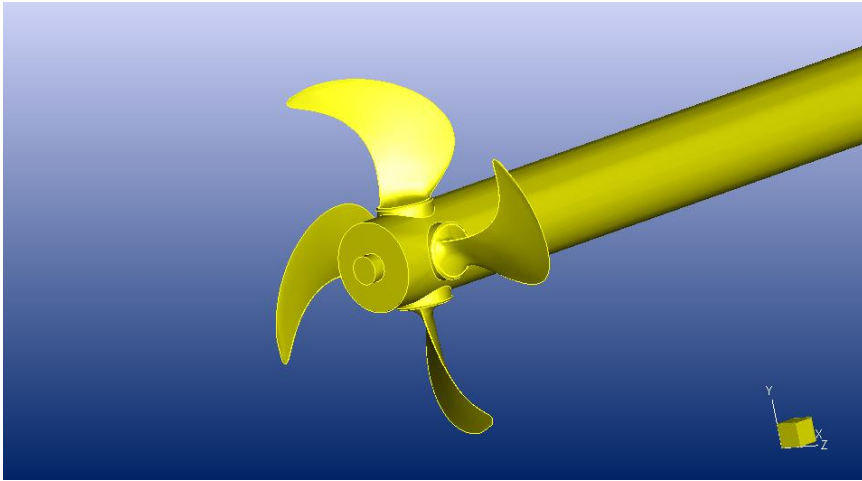


Gambar 2. 18. Model *Propeller Boss Cap Fins*  
(Sumber : Mizzi, 2017)

#### 2.15. Model *Propeller Wageningen Series C4-40*



Gambar 2. 19. Model *Propeller C4-40* dengan P/D 1.4  
(Sumber : Suranto, 2018)



Gambar 2. 20. Model *Propeller C4-40* tanpa *Boss Cap Fins*  
(Sumber : dokumen pribadi)

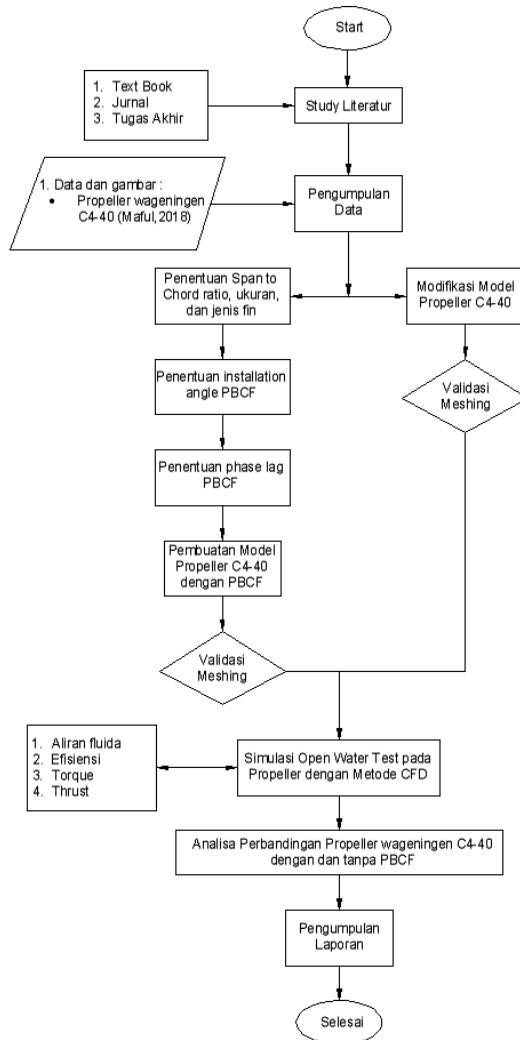
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Rencana Pelaksanaan

Proses pelaksanaan tugas akhir ini diuraikan berdasarkan pada langkah-langkah yang dilakukan berdasarkan flowchart berikut ini :



Gambar 3. 1. Alur pengerjaan tugas akhir

### 1. Studi Literatur

Pada tahap ini, dilakukan pemahaman lebih lanjut mengenai tema tugas akhir ini yang berasal dari jurnal, tugas akhir, artikel, buku, dll,

### 2. Pengumpulan data

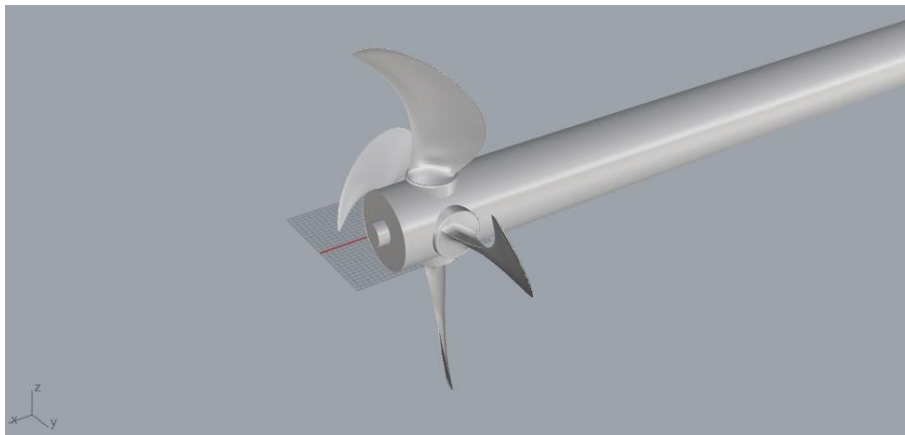
Pada tahap ini, dilakukan pengumpulan data yang diperlukan untuk mempermudah dalam perencanaan desain *propeller* boss cap *fins*. Data yang diperlukan adalah data *propeller* dan data *propeller* boss cap *fins*.

Data *Propeller*

1. Diameter	: 316.6	mm
2. P/D	: 1.4	
3. Diameter Boss	: 80	mm
4. Putaran	: 900	RPM

### 3. Pembuatan model *propeller*

Dari data ukuran *propeller*, dilakukan pemodelan *propeller* dengan bantuan software CAD.



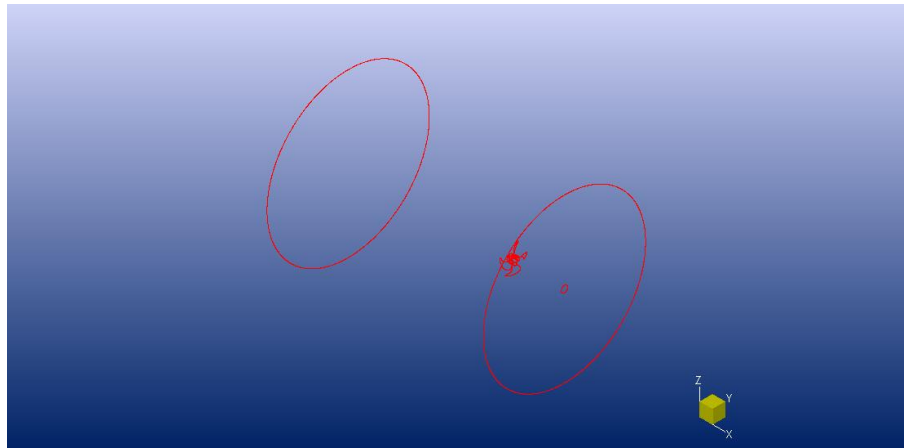
Gambar 3. 2. *Propeller* C4-40  
(Sumber : Dokumen Pribadi)

### 4. Simulasi *Propeller* C4-40 Tanpa PBCF

Setelah selesai dalam penggambaran model, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian pada model. Berikut adalah langkah-langkah pengujian yang dilakukan.

#### a. Penentuan batasan model

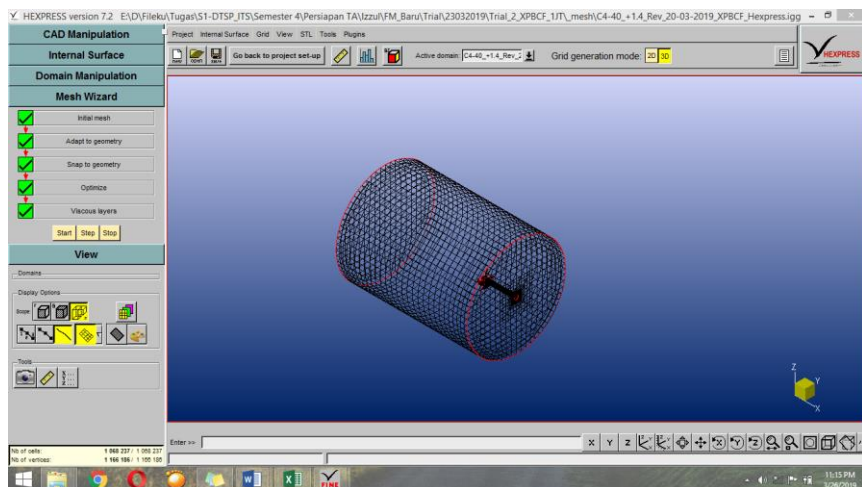
Pada tahap ini dilakukan batasan model atau membuat domain dalam simulasi *open water test*. Input yang dimasukkan berupa kecepatan putaran *propeller* beserta kecepatan *advance* dari fluida.



Gambar 3. 3. Penentuan Batasan (Domain)  
(Sumber : Dokumen Pribadi)

#### b. Meshing

Pada tahap meshing, benda akan dibagi menjadi blok-blok kecil. Ukuran dari blok-blok tersebut sesuai dengan luasan benda itu sendiri. Sebagai contoh, blok-blok pada *propeller* akan lebih kecil dibandingkan dengan blok yang ada pada cylinder yang menyelubungi.

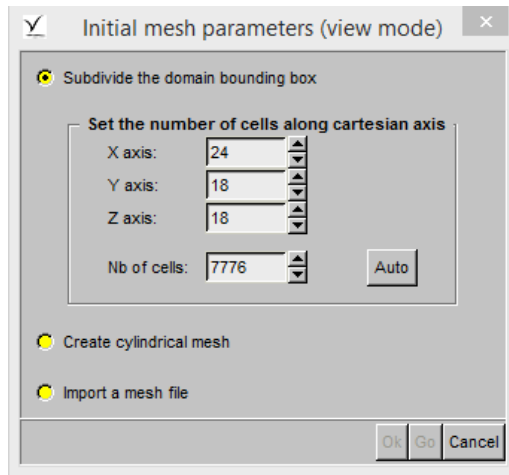


Gambar 3. 4. Hasil Meshing  
(Sumber : Dokumen Pribadi)

Berikut adalah tahapan-tahapan dari meshing.

##### 1. *Initian Mesh*

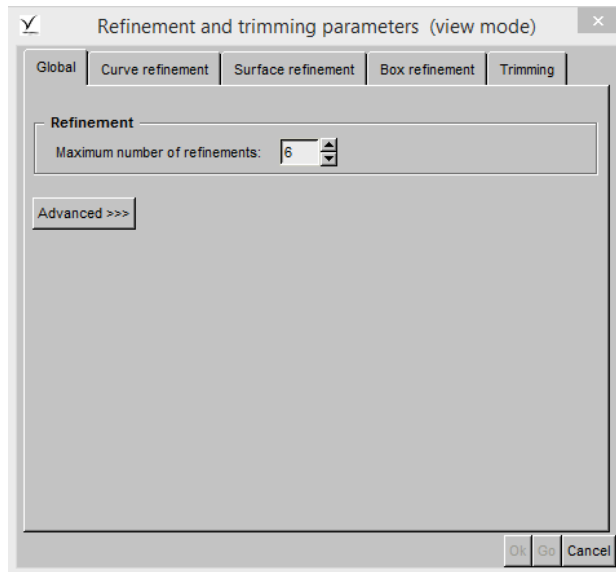
Pada *intial mesh* dilakukan penentuan jumlah cell berdasarkan sumbu



Gambar 3. 5. Initial mesh  
(Sumber : Dokumen Pribadi)

## 2. *Adapt to Geometry*

Pada tahap ini dilakukan *refinement* pada *cell* yang telah dibuat pada proses sebelumnya.

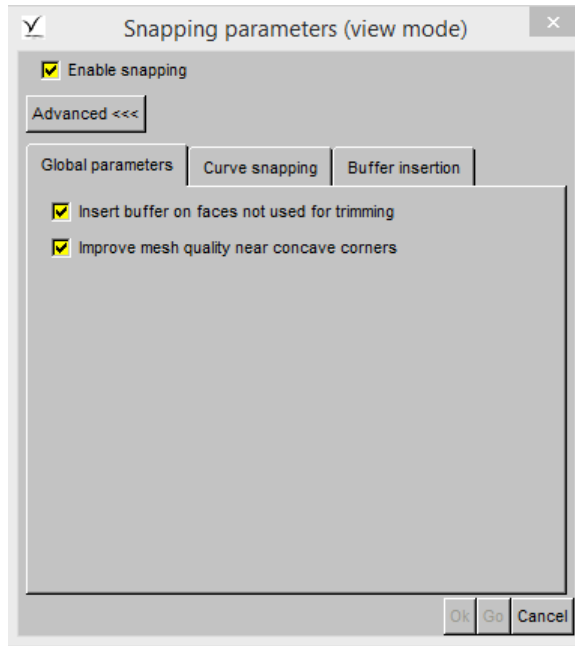


Gambar 3. 6. Adapt to Geometry  
(Sumber : Dokumen Pribadi)



### 3. *Snap to Geometry*

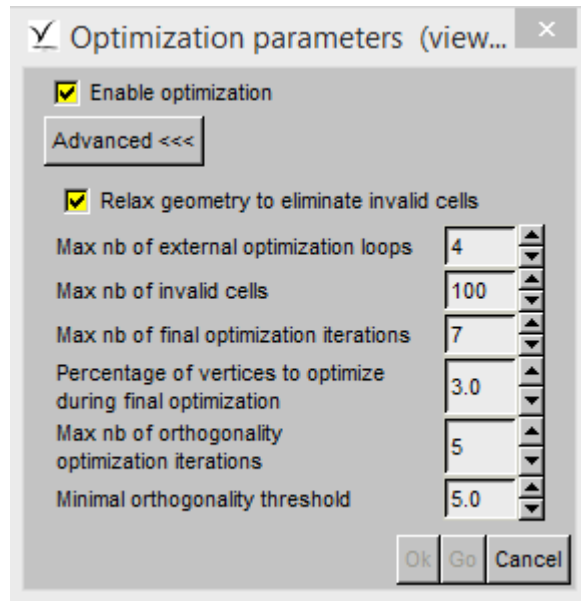
Pada tahap ini dilakukan penghalusan pada *cell* yang ada



Gambar 3. 7. Snap to Geometry  
(Sumber : Dokumen Pribadi)

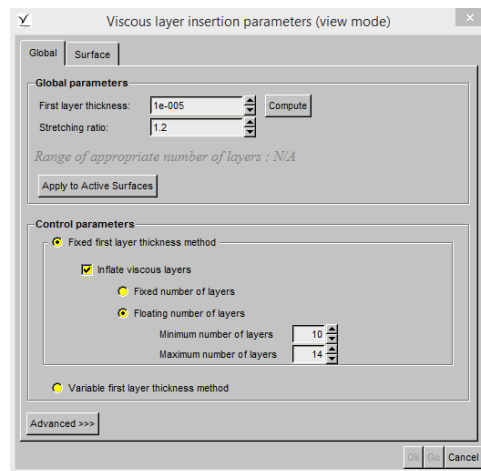
### 4. *Optimize*

Pada tahap ini dilakukan proses optimasi terhadap *cell* yang ada. Optimalisasi dilakukan pada *mesh* dengan kualitas yang buruk diantaranya *negative cell*, *concave cell*, dan *twisted cell*.

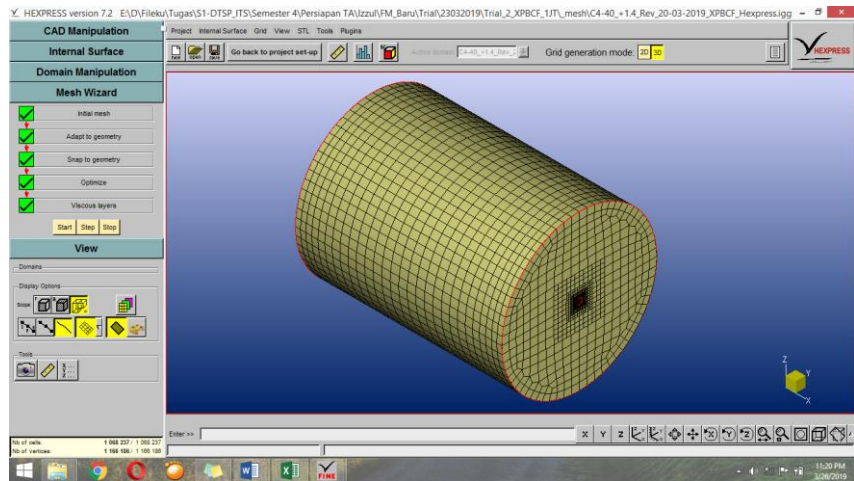


Gambar 3. 8. Optimize  
(Sumber : Dokumen Pribadi)

## 5. Viscous Layer



Gambar 3. 9. Viscous Layer  
(Sumber : Dokumen Pribadi)



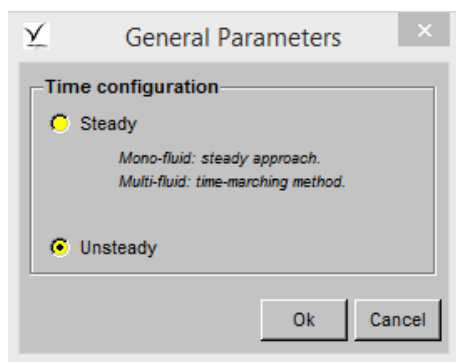
Gambar 3. 10. Hasil Meshing  
(Sumber : Dokumen Pribadi)

### c. Simulasi

Setelah proses meshing selesai, maka langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi dengan *software fine marine*. Terdapat beberapa parameter yang harus dimasukkan. Berikut adalah parameter-parameter tersebut.

#### 1. General Parameters

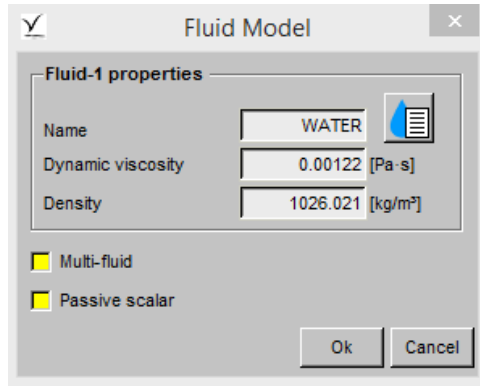
Pada tahap ini dilakukan konfigurasi waktu, dimana *steady* digunakan ketika kita ingin hasil yang akan kita dapatkan terjadi pada *time step* terkahir. Sedangkan *unsteady* merupakan konfigurasi waktu dimana kita dapat melihat hasil simulasi pada *time step* tertentu.



Gambar 3. 11. General Parameters  
(Sumber : Dokumen Pribadi)

## 2. Fluid Model

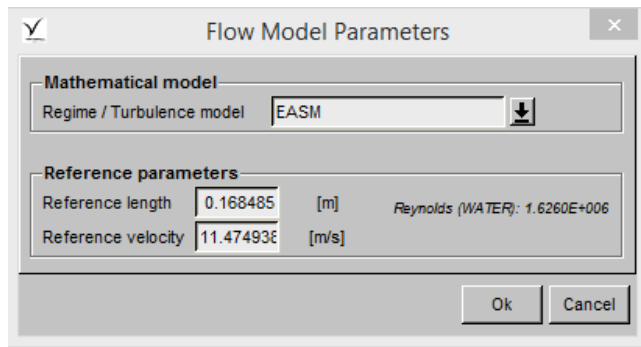
Pada tahap ini dilakukan penentuan *fluid properties*, dimana komponennya adalah *dynamic viscosity* dan densitas dari air laut. Pada *open water test* ini menggunakan fluida air laut dengan suhu 15°C.



Gambar 3. 12. FLuid Model  
(Sumber : Dokumen Pribadi)

## 3. Flow Model

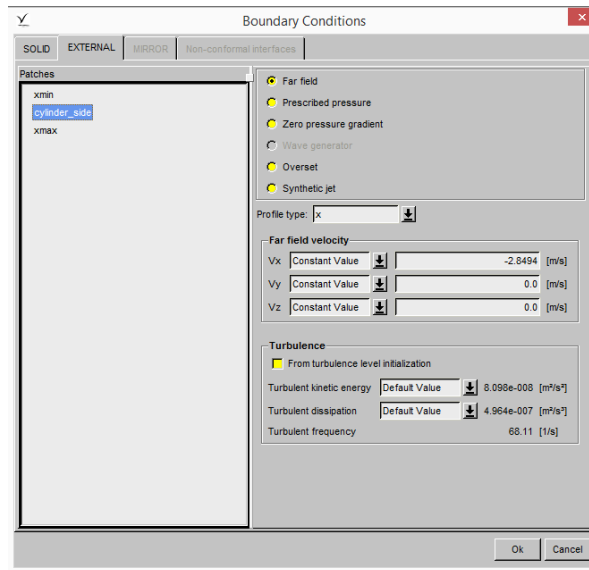
Pada tahap ini dilakukan penentuan aliran, yakni laminar atau turbulent.



Gambar 3. 13. Flow Model  
(Sumber : Dokumen Pribadi)

## 4. Boundary Condition

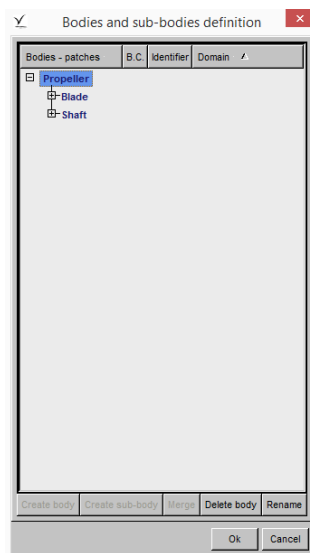
*Boundary condition* adalah penentuan *surface* yang ada pada model. Dimana *propeller* didefinisikan sebagai *wall function*, sedangkan *shaft* didefinisikan sebagai *slip*. Pada tahap ini terdapat beberapa komponen yang dimasukkan, yakni *speed of advance* pada silinder penyalang dan juga saluran keluar.



Gambar 3. 14. Boundary Condition  
(Sumber : Dokumen Pribadi)

#### 5. *Body Definition*

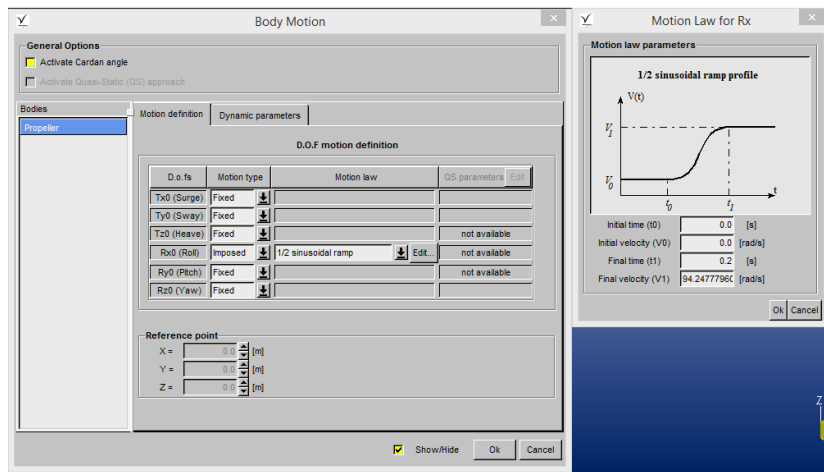
Pada tahap ini dilakukan pendefinisian terhadap *surface* yang ada. Pada simulasi kali ini, *propeller* dibagi menjadi dua, yakni *blade* dan *shaft*.



Gambar 3. 15. Body Definition  
(Sumber : Dokumen Pribadi)

## 6. Body Motion

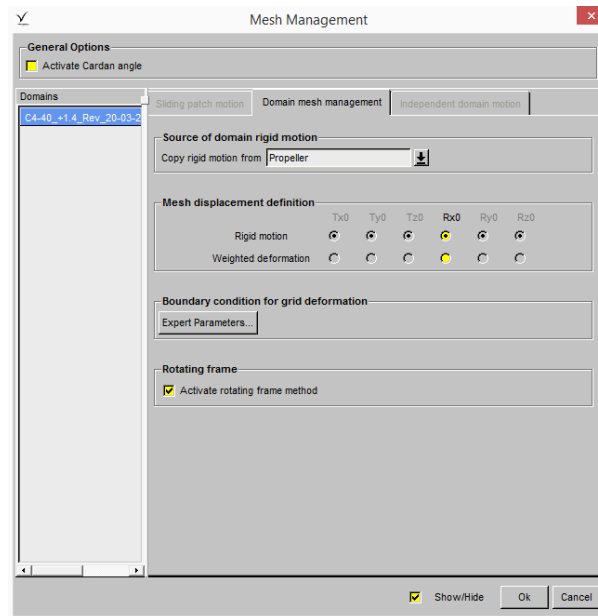
Body motion merupakan penentuan gerak dari *propeller* yang akan diuji. Pada simulasi ini menggunakan  $\frac{1}{2}$  sinusoidal ramp.



Gambar 3. 16. Body Motion  
(Sumber : Dokumen Pribadi)

## 7. Mesh Management

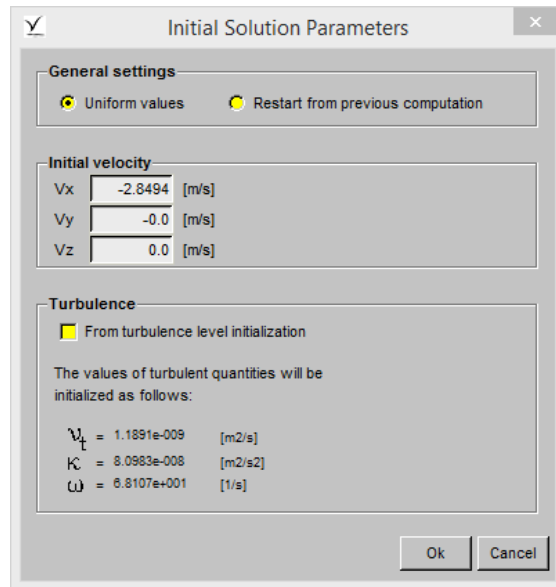
Pada tahap ini ditentukan gerak rotasi *propeller* terhadap sumbu apa.



Gambar 3. 17. Mesh Management  
(Sumber : Dokumen Pribadi)

#### 8. *Initial Solution*

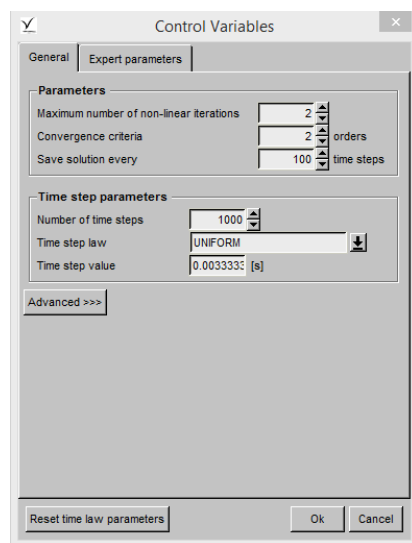
*Initial solution* merupakan tahap dimana menentukan kecepatan aliran pada sumbu tertentu.



Gambar 3. 18. Initial Solution  
(Sumber : Dokumen Pribadi)

### 9. Control Variable

Pada tahap ini ditentukan jumlah *time step*.

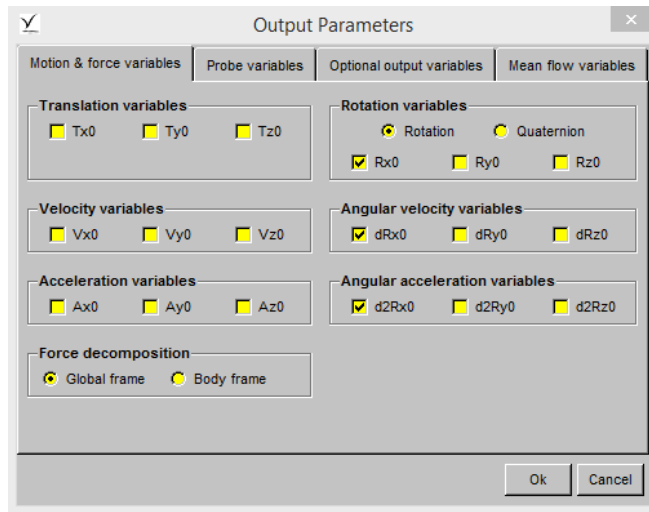


Gambar 3. 19. Control Variable  
(Sumber : Dokumen Pribadi)



### 10. Output Parameter

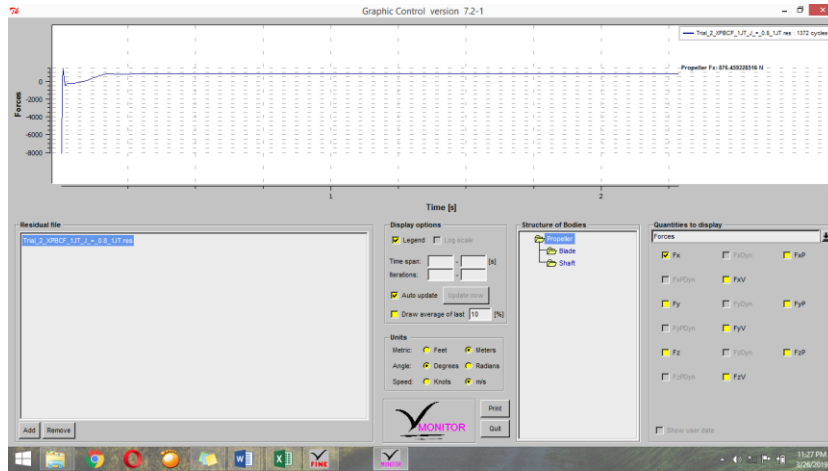
Dalam *output parameter* ditentukan output-output apa saja yang diinginkan.



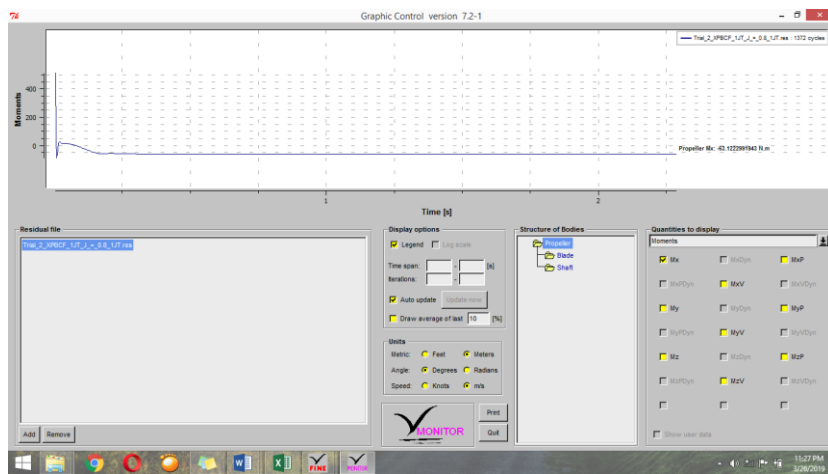
Gambar 3. 20. Output Parameter  
(Sumber : Dokumen Pribadi)

#### d. Hasil Simulasi

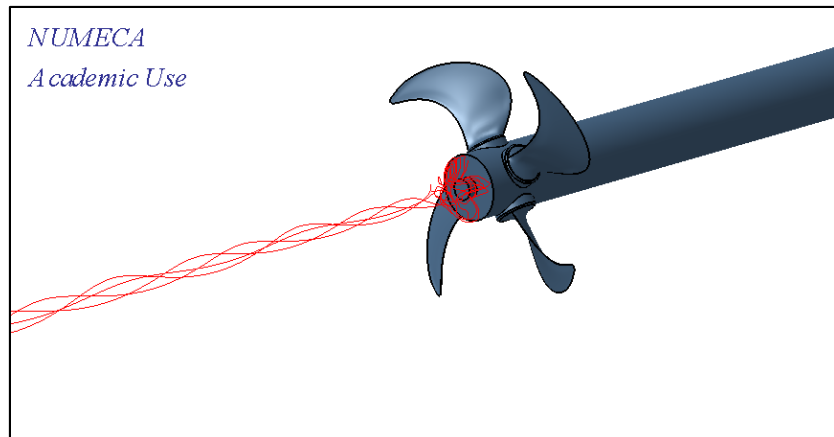
Setelah melakukan proses simulasi, langkah selanjutnya adalah melihat hasil simulasi. Terdapat beberapa komponen yang diambil dari hasil simulasi yang telah dilakukan, yakni *force* atau *thrust*, *moment* atau *torque*, dan juga aliran.



Gambar 3. 21. Hasil Simulasi Force  
(Sumber : Dokumen Pribadi)



Gambar 3. 22. Hasil Simulasi Moment  
(Sumber : Dokumen Pribadi)



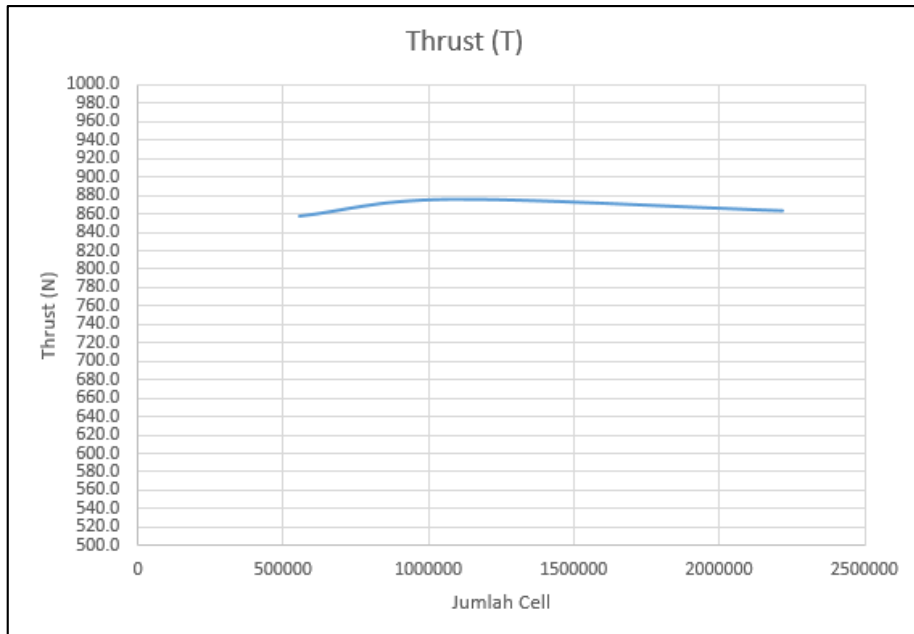
Gambar 3. 23. Hasil Simulasi Aliran pada J 0.8  
(Sumber : Dokumen Pribadi)

#### 5. Validasi meshing *propeller C4-40* tanpa PBCF

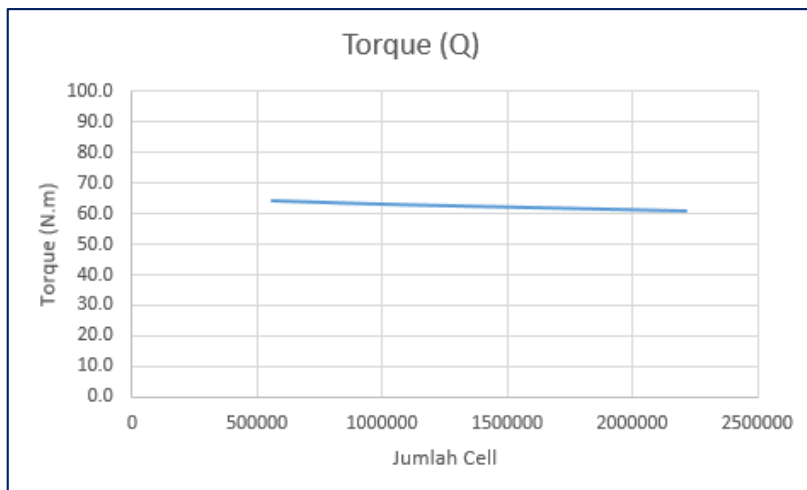
Setelah membuat model *propeller*, maka harus dilakukan validasi untuk memastikan data yang dihasilkan akurat. Validasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah validasi *meshing*. Variasi yang digunakan untuk validasi adalah jumlah *cell*. Berikut adalah hasil dari simulasi *propeller C4-40* dengan jumlah *cell* yang berbeda.

Tabel 3. 1. Validasi *Meshing*

Cell	J	T	Q
557731	0.8	857.5	64.5
1068237	0.8	876.5	63.1
2216852	0.8	863.6	60.9



Gambar 3. 24. Validasi *Meshing Thrust*  
(Sumber : Dokumen Pribadi)



Gambar 3. 25. Validasi *Meshing Torque*  
(Sumber : Dokumen Pribadi)

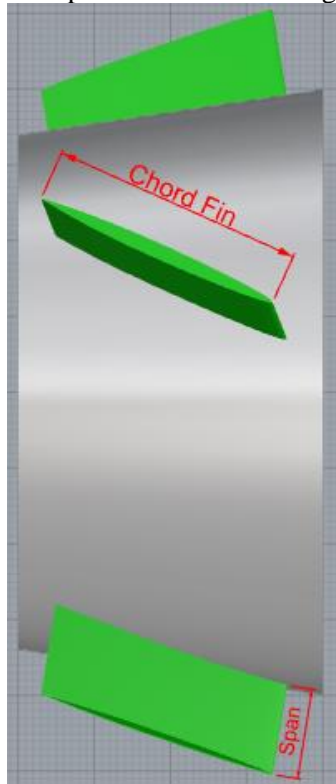
Melihat hasil dari perbandingan *thrust* dan *moment*, maka jumlah *cell* yang digunakan dalam analisa CFD *propeller* wageningen C4-40 adalah 1 – 2 juta cell.

#### 6. Simulasi aliran fluida pada *propeller*

Pada tahap ini, dilakukan simulasi terhadap aliran fluida pada *propeller*. Simulasi dilakukan pada model *propeller* C4-40 dengan dan tanpa PBCF.

#### 7. Pemodelan PBCF dengan variasi diameter

Pada tahap ini, dilakukan pemodelan PBCF dengan empat variasi *span to chord*.



Gambar 3. 26. Geometri *fin* PBCF  
(Sumber : dokumen pribadi)

Variasi rasio *span to chord* yang digunakan adalah.

Tabel 3. 2. Ukuran *Foil*

Span to Chord Ratio	Fin Chord(m)	Fin Span (mm)
0.17	35	6
0.23	35	8
0.29	35	10
0.34	35	12

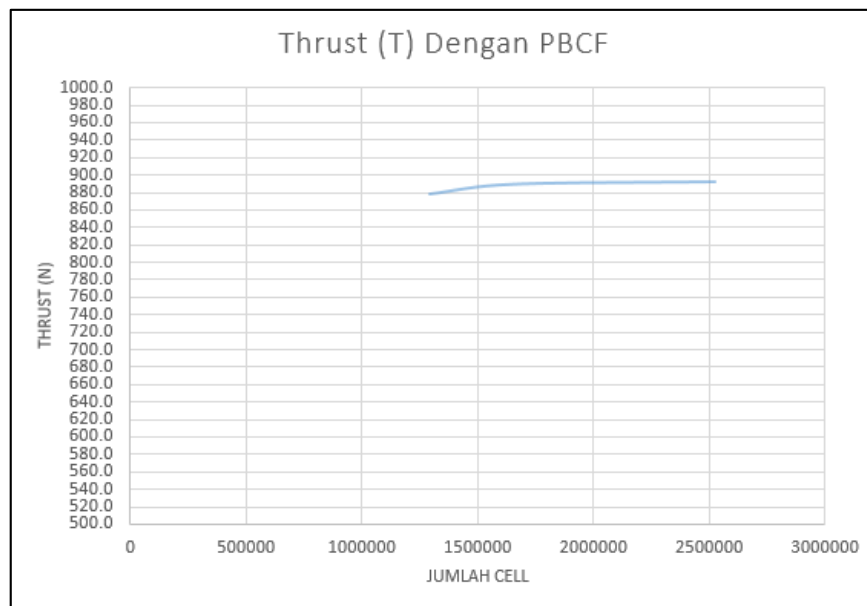
(Sumber : dokumen pribadi)

### 8. Validasi Meshing *Propeller C4-40* dengan PBCF

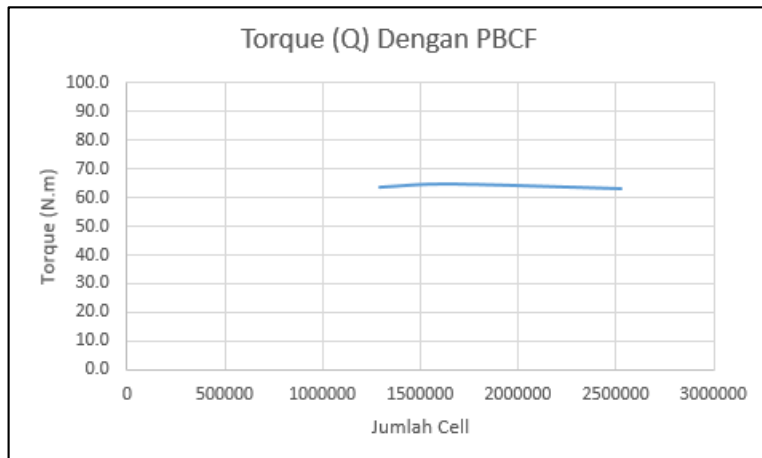
Selain validasi meshing pada *propeller C4-40* tanpa PBCF, validasi *meshing* pada *propeller* dengan PBCF juga perlu dilakukan. Validasi dilakukan untuk memastikan bahwa hasil analisa yang telah dilakukan benar. Pada validasi *meshing* ini digunakan *variable* berupa jumlah *cell*.

Tabel 3. 3. Validasi *Meshing Propeller* dengan PBCF

<i>Cell</i>	<b>J</b>	<i>Thrust</i> (N)	<i>Torque</i> (N.m)
1293751	0.8	878.4	63.7
1651837	0.8	889.7	64.8
2525579	0.8	892.6	63.2



Gambar 3. 27. Validasi *Thrust*  
(Sumber : dokumen pribadi)



Gambar 3. 28. Validasi Torque  
(Sumber : dokumen pribadi)

Melihat hasil dari perbandingan *thrust* dan *moment*, maka jumlah *cell* yang digunakan dalam analisa CFD *propeller* wageningen C4-40 adalah 1.6 – 2.5 juta cell.

## 9. Penentuan Installation Angel

Berdasarkan hasil penelitian yang ada, *installation angle* terbaik yang digunakan adalah *installation angle*  $61.5^\circ$  (Lim, 2018). Sang-Seop Lim, dkk melakukan penelitian pada *propeller* kapal *container* 6500 TEU dengan *open water test*. Berikut adalah detailnya

Tabel 3. 4. Variable penelitian PBCF

<i>Installation Angle</i>	$r/R$	<i>Inclination of Fins</i>
$71.5^\circ$	0.28R	$-10^\circ$
$66.5^\circ$	0.29R	$0^\circ$
$61.5^\circ$	0.31R	$10^\circ$

(Sumber : Lim, 2014)

Dari data pada table 3.4 dapat dilihat bahwa, penelitian yang dilakukan oleh Sang-Seop Lim menggunakan 3 variabel, yakni *installation angle*, rasio radius PBCF terhadap radius *propeller*, dan *inclination of fins*. Berikut adalah hasil dari penelitian tersebut dengan *inclination of fins* sebesar  $0^\circ$ .

Tabel 3. 5. Efisiensi pada radius PBCF 0.31R

<i>Installation Angle</i>	<i>r/R</i>	<i>Inclination of Fins</i>	$\eta_0$	
			<i>J = 0.5</i>	<i>J = 0.6</i>
71.5°	0.31R	0°	0.4876	0.5548
66.5°	0.31R	0°	0.4877	0.5550
61.5°	0.31R	0°	0.4879	0.5550

(Sumber : Lim, 2014)

Tabel 3. 6. Efisiensi pada radius PBCF 0.29R

<i>Installation Angle</i>	<i>r/R</i>	<i>Inclination of Fins</i>	$\eta_0$	
			<i>J = 0.5</i>	<i>J = 0.6</i>
71.5°	0.29R	0°	0.4867	0.554
66.5°	0.29R	0°	0.4879	0.5550
61.5°	0.29R	0°	0.4879	0.5550

(Sumber : Lim, 2014)

Tabel 3. 7. Efisiensi pada radius PBCF 0.28R

<i>Installation Angle</i>	<i>r/R</i>	<i>Inclination of Fins</i>	$\eta_0$	
			<i>J = 0.5</i>	<i>J = 0.6</i>
71.5°	0.28R	0°	0.4861	0.5536
66.5°	0.28R	0°	0.4867	0.5543
61.5°	0.28R	0°	0.4886	0.5563

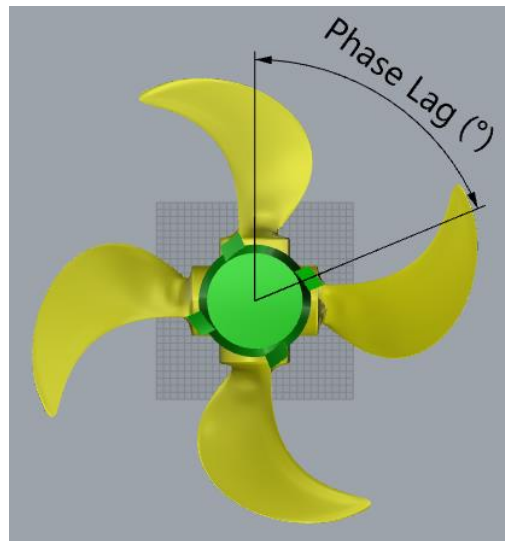
(Sumber : Lim, 2014)

Dari table 3.5 – 3.7 dapat kita ketahui bahwa, sudut pemasangan *fin* terbaik diantara sudut 61.5°, 66.5°, dan 71.5° adalah 61.5°.

### 10. Penentuan Phase lag PBCF

Phase lag adalah posisi pemasangan *fin* yang berdasar pada sudut tertentu. Posisi *phase lag* divariasikan pada sudut diantara dua *root*.





Gambar 3. 29. *Phase Lag*  
(Sumber : Dokumen pribadi)

Pada penelitian ini, terdapat 3 variasi *phase lag* untuk menentukan *phase lag* terbaik yang akan digunakan pada *propeller C4-40*. *Phase lag* tersebut adalah :

Tabel 3. 8. Hasil analisa *propeller* dengan PBCF dengan *phase lag* berbeda

Phase Lag	J	T	Q	$\eta_o$
22.5	0.8	859.3	60.7	0.570
45	0.8	889.7	64.8	0.554
67.5	0.8	893.2	63.1	0.571

(Sumber : Dokumen pribadi)

*Thrust* dan *torque* pada table 3.8 akan dibandingkan dengan hasil analisa *propeller C4-40* dengan koefisien *advance* yang sama.

Tabel 3. 9. Hasil analisa *propeller C4-40* tanpa PBCF

J	T	Q	$\eta_o$
0.8	866.86	62.28	0.56

(Sumber : Dokumen pribadi)

Sehingga menghasilkan,

Tabel 3. 10. Penentuan phase lag PBCF

Phase Lag	J	T	Q	$\eta_0$	T (%)	Q (%)	$\eta_0$ (%)
22.5	0.8	859.3	60.7	0.570	-0.9	-2.5	1.633549
45	0.8	889.7	64.8	0.554	2.6	4.0	-1.35833
67.5	0.8	893.2	63.1	0.571	3.0	1.2	1.777431

(Sumber : Dokumen pribadi)

Dari tabel 3.10 dapat disimpulkan bahwa phase lag PBCF yang digunakan adalah phase lag pada sudut  $67.5^\circ$ .

### 11. Simulasi Aliran Fluida , torsi, dan daya dorong

Pada tahap ini, dilakukan simulasi aliran fluida, torsi, dan daya dorong setelah terjadi perubahan *chord* dan *span* PBCF

### 12. Analisa

Setelah mendapatkan data dari hasil simulasi, maka data tersebut akan dianalisa (dibandingkan) antar data pada setiap variasi *chord* dan *span*.

### 13. Pengumpulan Laporan

Pada tahap ini laporan akan disusun sedemikian rupa hingga siap untuk diserahkan dan diujikan.

## BAB IV

### ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Model Propeller

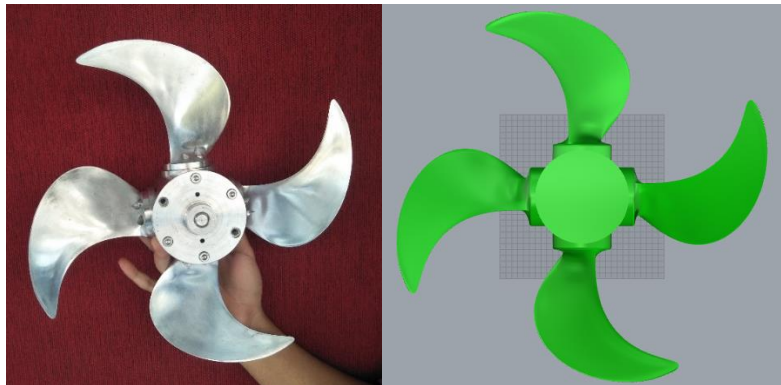
Data *propeller* yang digunakan adalah model *propeller* yang telah dibuat dan diproduksi. Berikut adalah data beserta model *propeller* C4-40 tersebut.

Type	: C4 – 40
Diameter	: 316.6 mm
Shaft Diameter	: 80 mm
Jumlah Blade	: 4
Expanded Area Ratio	: 0.4
Pitch/Diameter	: 1.4



Model No. 7192 ( $P_{0.70}/D = 1.4$ )

Gambar 4. 1. Model *Propeller* C4-40 dengan P/D 1.4  
(Sumber : Suranto, 2018)



Gambar 2. 21. *Propeller Wageningen C4-40 yang Telah Dibuat*  
(Sumber : dokumen pribadi)

#### 4.2. Karakteristik *Propeller C4-40* pada *Propeller Open water test*

Pada penelitian ini digunakan beberapa variasi koefisien *advance*. Berikut adalah variasi tersebut.

Tabel 4. 1. Variasi Koefisien *Advance*

Variasi J			
RPM	RPS	Va	J
900	15	2.8494	0.6
900	15	3.7992	0.8
900	15	4.749	1
900	15	5.6988	1.2
900	15	6.6486	1.4

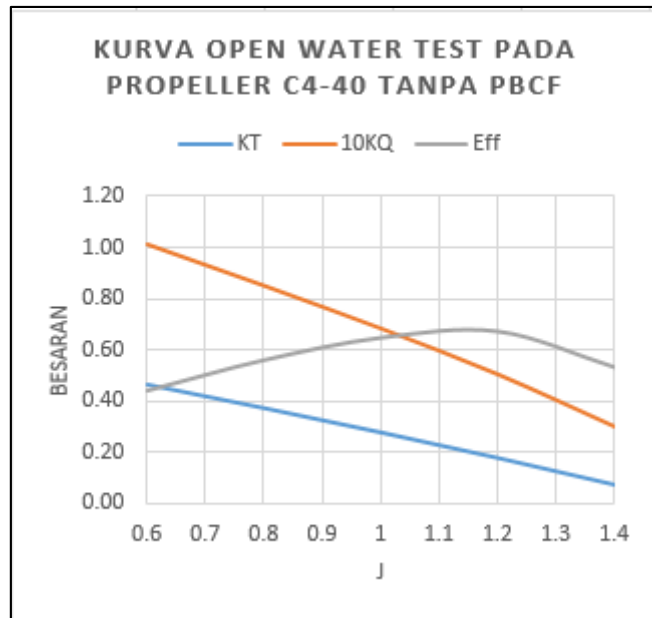
(Sumber : dokumen pribadi)

Setelah melakukan analisa pada *propeller* wageningen C4-40, maka didapatkan hasil berupa :

Tabel 4. 2. Hasil Analisa *Propeller C4-40*

J	Tanpa PBCF (1326017 cell)		
	T (N)	Q (Nm)	$\eta_o$
0.6	1082.13	74.10	0.44
0.8	866.86	62.28	0.56
1	644.34	50.09	0.65
1.2	411.51	36.98	0.67
1.4	166.55	22.07	0.53

(Sumber : dokumen pribadi)



Gambar 4. 2. Karakteristik *Open water test Propeller C4-40 Tanpa PBCF*  
(Sumber : dokumen pribadi)

Tabel 4. 3. Perbedaan nilai KT

J	KT		
	Paper	XPBCF	Diff(%)
0.6	0.420	0.467	11.10908
0.8	0.348	0.374	7.457112
1	0.264	0.278	5.386293
1.2	0.172	0.177	3.390564
1.4	0.069	0.072	4.218248

(Sumber : dokumen pribadi)

Tabel 4. 4. Perbedaan nilai 10KQ

J	10KQ		
	Paper	XPBCF	Diff(%)
0.6	0.8053	1.009	25.30818
0.8	0.6947	0.848	22.09157
1	0.567	0.682	20.29229
1.2	0.4157	0.504	21.15009
1.4	0.2313	0.301	29.92285

(Sumber : dokumen pribadi)

Pada table 4.4 dapat dilihat bahwa torsi *propeller C4-40* pada penelitian ini jauh berbeda daripada *propeller C4-40* pada paper Dang J, 2013. Hal tersebut terjadi

karena torsi *propeller* C4-40 pada penelitian ini memiliki torsi yang jauh lebih besar. Formula dibawah dapat membuktikan hal tersebut.

$$\tau = I \times \alpha$$

dimana,

$$\tau = \text{Torsi} \quad (\text{N.m})$$

$$I = \text{Momen Inersia} \quad (\text{kg.m}^2)$$

$$\alpha = \text{Percepatan sudut} \quad (\text{rad/s}^2)$$

$$I = m \times r^2$$

dimana,

$$I = \text{momen inersia} \quad (\text{kg.m}^2)$$

$$r = \text{Jari - jari} \quad (\text{m})$$

$$m = \text{massa benda} \quad (\text{kg})$$

Sehingga,

$$\tau = m \times r^2 \times \alpha$$

Dapat disimpulkan bahwa semakin besar jari-jari *propeller*, maka torsi *propeller* akan semakin besar. Begitu juga dengan massa *propeller*, semakin besar massa *propeller*, maka torsi *propeller* akan semakin besar. Perbedaan model *blade root* serta *hub propeller* pada penelitian ini disinyalir sebagai penyebab perbedaan torsi yang mencolok.

Gambar 4. 3. Perbedaan model *propeller* C4-40Tabel 4. 5. Perbedaan nilai  $\eta_o$ 

J	$\eta_o$		
	Paper	XPBCF	Diff(%)
0.6	0.5	0.44	-11.6554
0.8	0.63	0.56	-10.9013
1	0.73	0.65	-11.1564
1.2	0.78	0.67	-13.6979
1.4	0.64	0.53	-16.768

(Sumber : dokumen pribadi)

#### 4.3. Pemilihan *Foil* PBCF

Pemilihan *foil* dapat dipengaruhi oleh reynold number (Oloan, 2018). Untuk mendapatkan reynold number, terdapat beberapa komponen yang harus diketahui. Komponen tersebut adalah :

1.  $V_a$ , *Velocity of the fluid* (m/s)
2.  $L$ , *Length of fin* (m)
3.  $\nu$ , *Kinematic viscosity* ( $m^2/s$ )

Dimana formula reynold number adalah,

$$Re = \frac{\rho v l}{\mu} = \frac{v l}{\nu}$$

Dimana,

$V$  = *Velocity of the fluid*

$$= 6.6486 \quad m/s$$

$L$  = *The Characteristic length*

$$= 0.035 \quad \text{m}$$

$\nu$  = Kinematic viscosity (Tabel. 4. 6)

$$= 1.18831 \times 10^{-6} \quad (\text{Pada suhu } 15^{\circ}\text{C})$$

(Oloan, 2018)

Tabel 4. 6. *Kinematic viscosity of salt water*

°C	0.0
0.	1.82844
1.	1.76915
2.	1.71306
3.	1.65988
4.	1.60940
5.	1.56142
6.	1.51584
7.	1.47242
8.	1.43102
9.	1.39152
10.	1.35383
11.	1.31773
12.	1.28324
13.	1.25028
14.	1.21862
15.	1.18831
16.	1.15916
17.	1.13125
18.	1.10438
19.	1.07854
20.	1.05372
21.	1.02981
22.	1.00678
23.	0.98457
24.	0.96315
25.	0.94252
26.	0.92255
27.	0.90331
28.	0.88470
29.	0.86671
30.	0.84931

(Sumber : ITTC, 1963)

Maka,

$$\text{Re} = \frac{V_a \times L}{\nu}$$

$$= 195825.2$$



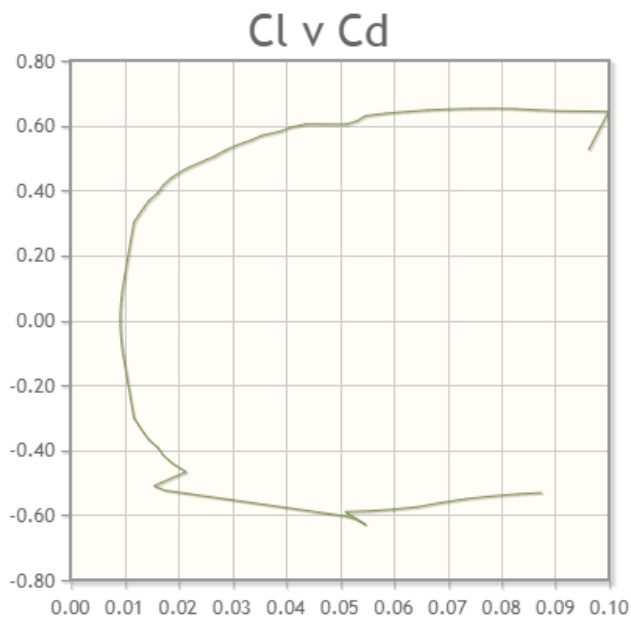
Dari reynold number tersebut, dapat dipilih *foil* yang sesuai (Gambar 4. 4)

#### Polars for NACA 16-006 (naca16006-il)

Plot	Airfoil	Reynolds #	Ncrit	Max Cl/Cd	Description	Source
<input type="checkbox"/>	naca16006-il	50,000	9	16.4 at $\alpha=3.5^\circ$	Mach=0 Ncrit=9	<a href="#">Xfoil_prediction</a> <a href="#">Details</a>
<input type="checkbox"/>	naca16006-il	50,000	5	16.4 at $\alpha=3.25^\circ$	Mach=0 Ncrit=5	<a href="#">Xfoil_prediction</a> <a href="#">Details</a>
<input type="checkbox"/>	naca16006-il	100,000	9	20.6 at $\alpha=2.75^\circ$	Mach=0 Ncrit=9	<a href="#">Xfoil_prediction</a> <a href="#">Details</a>
<input type="checkbox"/>	naca16006-il	100,000	5	21.7 at $\alpha=2.5^\circ$	Mach=0 Ncrit=5	<a href="#">Xfoil_prediction</a> <a href="#">Details</a>
<input checked="" type="checkbox"/>	naca16006-il	200,000	9	25.6 at $\alpha=2^\circ$	Mach=0 Ncrit=9	<a href="#">Xfoil_prediction</a> <a href="#">Details</a>
<input type="checkbox"/>	naca16006-il	200,000	5	33.4 at $\alpha=1.75^\circ$	Mach=0 Ncrit=5	<a href="#">Xfoil_prediction</a> <a href="#">Details</a>
<input type="checkbox"/>	naca16006-il	500,000	9	41.2 at $\alpha=1.5^\circ$	Mach=0 Ncrit=9	<a href="#">Xfoil_prediction</a> <a href="#">Details</a>
<input type="checkbox"/>	naca16006-il	500,000	5	34 at $\alpha=3.75^\circ$	Mach=0 Ncrit=5	<a href="#">Xfoil_prediction</a> <a href="#">Details</a>
<input type="checkbox"/>	naca16006-il	1,000,000	9	40.8 at $\alpha=3.25^\circ$	Mach=0 Ncrit=9	<a href="#">Xfoil_prediction</a> <a href="#">Details</a>
<input type="checkbox"/>	naca16006-il	1,000,000	5	36.2 at $\alpha=3.25^\circ$	Mach=0 Ncrit=5	<a href="#">Xfoil_prediction</a> <a href="#">Details</a>

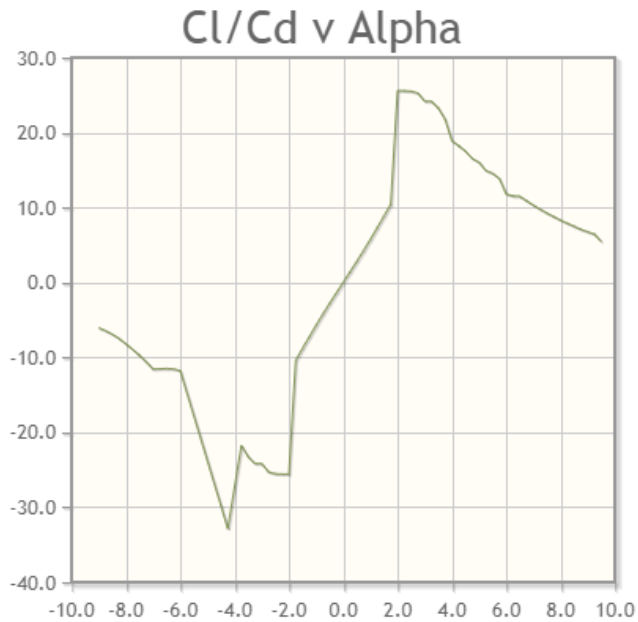
Gambar 4. 4. Pemilihan *foil* NACA 16  
(Sumber : [www.airfoiltools.com](http://www.airfoiltools.com))

Dari gambar 4.4, dapat dilihat bahwa untuk reynold number dibawah 200000, maka *foil* yang digunakan adalah *foil* tipe NACA 16006 il, dengan Cl/Cd max 25.6.



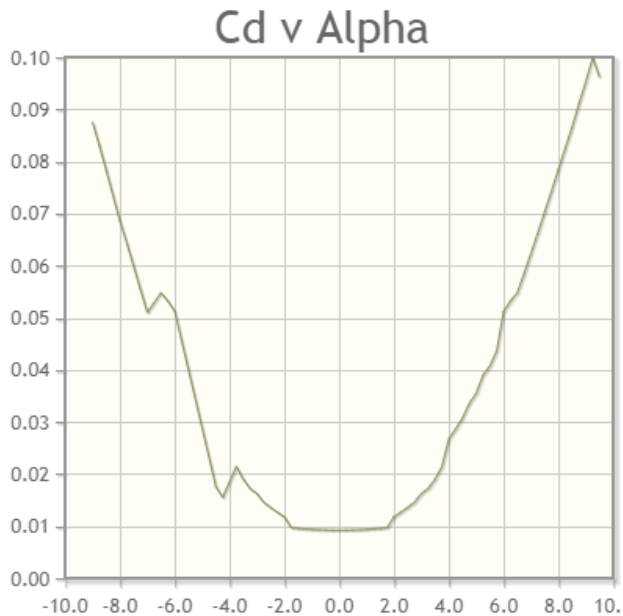
Gambar 4. 5. Grafik CL vs CD NACA 16006 il  
(Sumber : [www.airfoiltools.com](http://www.airfoiltools.com))

Dari gambar 4.5 dapat dilihat perbandingan antara koefisien *lift* dan koefisien *drag*.



Gambar 4. 6. Grafik Cl/Cd vs Alpha NACA 16006 il  
(Sumber : [www.airfoiltools.com](http://www.airfoiltools.com))

Dari gambar 4.6 dapat dilihat bahwa Cl/Cd tertinggi terletak pada sudut  $1.5^\circ$ . Semakin besar Cl/Cd maka dapat dikatakan bahwa *foil* tersebut memiliki kemampuan yang baik. Hal tersebut dikarenakan gaya *lift* pada *foil* tersebut lebih besar daripada gaya *drag* pada *foil*.



Gambar 4. 7. Grafik Cd vs Alpha NACA 16006 il

(Sumber : [www.airfoiltools.com](http://www.airfoiltools.com))

Dari gambar 4.7 juga dapat dilihat bahwa koefisien drag terkecil terdapat pada sudut serang ( $\alpha$ )  $1.5^\circ$ . Titik terendah kurva tersebut menunjukkan titik dimana gaya *drag* terendah dari *foil*.

Setelah selesai menentukan tipe *foil* yang digunakan, maka tahap selanjutnya adalah mengetahui koordinat dan bentuk dari *foil* tersebut.

Tabel 4. 7. Data umum *foil*

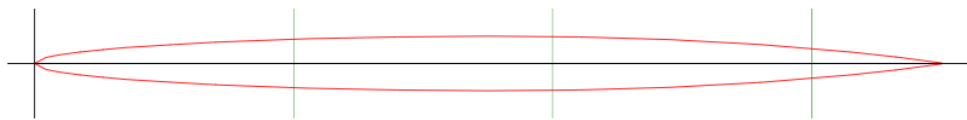
Name	NACA 16-006
Chord(mm)	35
Radius(mm)	0
Thickness(%)	100
Origin(%)	0
Pitch(deg)	0

(Sumber : [www.airfoiltools.com](http://www.airfoiltools.com))

Tabel 4. 8. Koordinat *foil* NACA 16006 il

Airfoil surface	
X(mm)	Y(mm)
35	0.021
33.25	0.24745
31.5	0.44065
28	0.73465
24.5	0.92225
21	1.02095
17.5	1.05
14	1.02445
10.5	0.94815
7	0.8162
5.25	0.72345
3.5	0.60515
2.625	0.5306
1.75	0.43925
0.875	0.31605
0.4375	0.2261
0	0

(Sumber : [www.airfoiltools.com](http://www.airfoiltools.com))



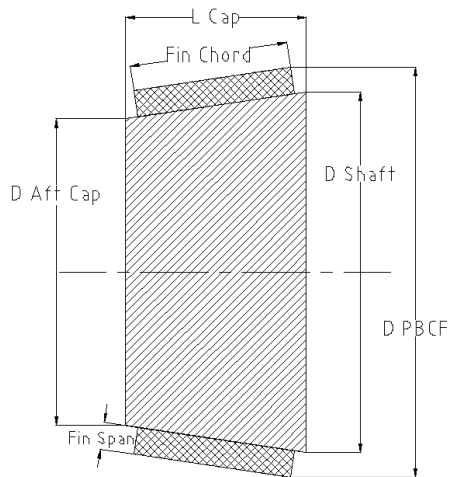
Name = NACA 16-006  
Chord = 35mm Radius = 0mm Thickness = 100% Origin = 0% Pitch = 0°

Gambar 4. 8. Bentuk *foil* NACA 16006

(Sumber : [www.airfoiltools.com](http://www.airfoiltools.com))

#### 4.4. Geometri Model PBCF

Salah satu saran desain PBCF adalah diameter *fin* seharusnya tidak boleh lebih dari 33% diameter *propeller* (Oloan, 2018). Berdasarkan hal tersebut, maka ukuran dari PBCF adalah :



Gambar 4. 9. Geometri PBCF  
(Sumber : dokumen pribadi)

$$\begin{aligned}
 D_{propeller} &= 316.6 \text{ mm} \\
 D_{shaft} &= 80 \text{ mm} \\
 D_{aft\ cap} &= 0.85 \times D_{shaft} \\
 &= 68 \text{ mm} \\
 L_{cap} &= 0.5 \times D_{shaft} \\
 &= 40 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dengan perhitungan diatas, maka didapatkan

Tabel 4. 9. Batasan diameter PBCF

Span to Chord Ratio	Chord (mm)	Span (mm)	D PBCF (mm)	D Prop (mm)	% PBCF terhadap D prop
0.17	35	6	91.96	316.6	29.05
0.23	35	8	95.85	316.6	30.27
0.29	35	10	99.75	316.6	31.51
0.34	35	12	103.65	316.6	32.74

(Sumber : dokumen pribadi)

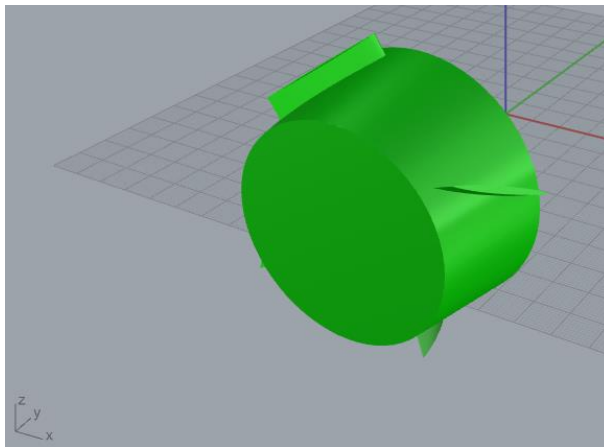
#### 4.5. Model PBCF

Terdapat empat variasi model PBCF pada penelitian ini, dimana keempat model tersebut memiliki *span to chord ratio* (STC) yang berbeda. Berikut adalah detail ukuran PBCF tersebut.

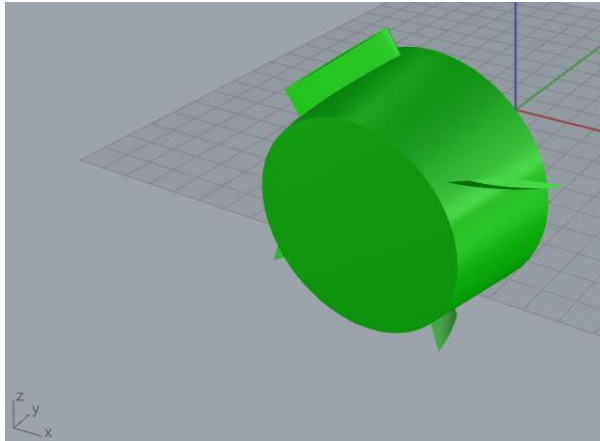
Tabel 4. 10. Geometri *Fin* PBCF

Span to Chord Ratio	Fin Chord (mm)	Fin Span (mm)	Installation Angel (°)	Phase lag (°)
0.17	35	6	61.5	67.5
0.23	35	8	61.5	67.5
0.29	35	10	61.5	67.5
0.34	35	12	61.5	67.5

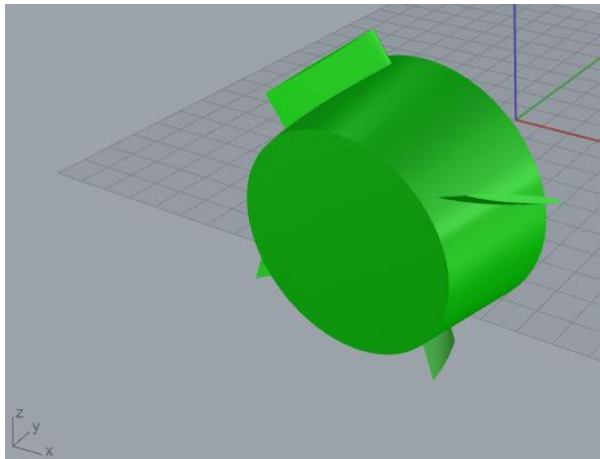
(Sumber : dokumen pribadi)



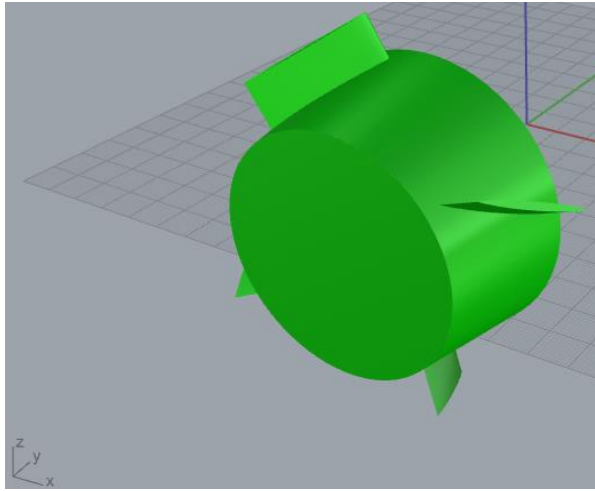
Gambar 4. 10. PBCF dengan *Span to chord ratio* 0.17  
(Sumber : dokumen pribadi)



Gambar 4. 11. PBCF dengan *Span to chord ratio* 0.23  
(Sumber : dokumen pribadi)



Gambar 4. 12. PBCF dengan *Span to chord ratio* 0.29  
(Sumber : dokumen pribadi)



Gambar 4. 13. PBCF dengan *Span to chord ratio* 0.34  
(Sumber : dokumen pribadi)

#### 4.6. Analisa *Propeller Open water test* pada C4-40 dengan PBCF

##### 4.7.1. *Propeller open water test* pada C4-40 dengan STC PBCF 0.17

Untuk mengetahui *thrust* dan *torque propeller* C4-40 dengan penambahan PBCF, maka dilakukan *open water test* dengan aplikasi numeca finemarine. Setelah dilakukan *computational fluid dynamic*, maka dihasilkan data berupa,

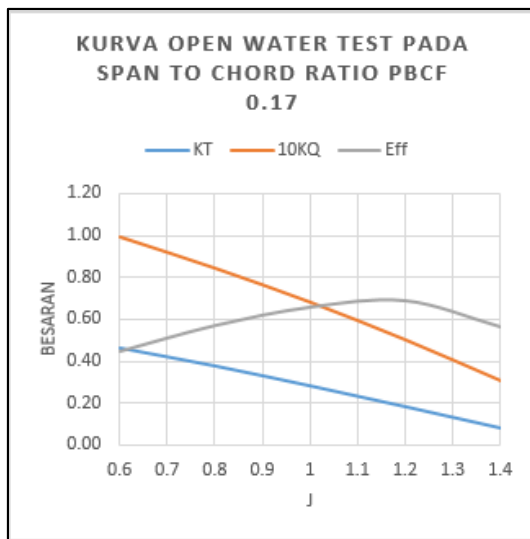
Tabel 4. 11. Analisa *Propeller* C4-40 dengan *Span to Chord Rasio* PBCF 0.17

J	C4-40 Tanpa PBCF			C4-40 Dengan <i>Span to Chord Ratio</i> PBCF 0.17							
	T (N)	Q (Nm)	$\eta_o$	T (N)	Q (Nm)	$\eta_o$	T (%)	Q (%)	$\eta_o$ (%)	KT	10KQ
0.6	1082.13	74.10	0.442	1081.59	72.98	0.448	-0.05	-1.52	1.49	0.466	0.994
0.8	866.86	62.28	0.561	879.29	62.03	0.572	1.43	-0.40	1.85	0.379	0.845
1	644.34	50.09	0.649	655.67	50.14	0.659	1.76	0.11	1.65	0.283	0.683
1.2	411.51	36.98	0.673	422.11	37.01	0.690	2.58	0.07	2.51	0.182	0.504
1.4	166.55	22.07	0.533	181.95	22.73	0.565	9.24	3.00	6.06	0.078	0.310

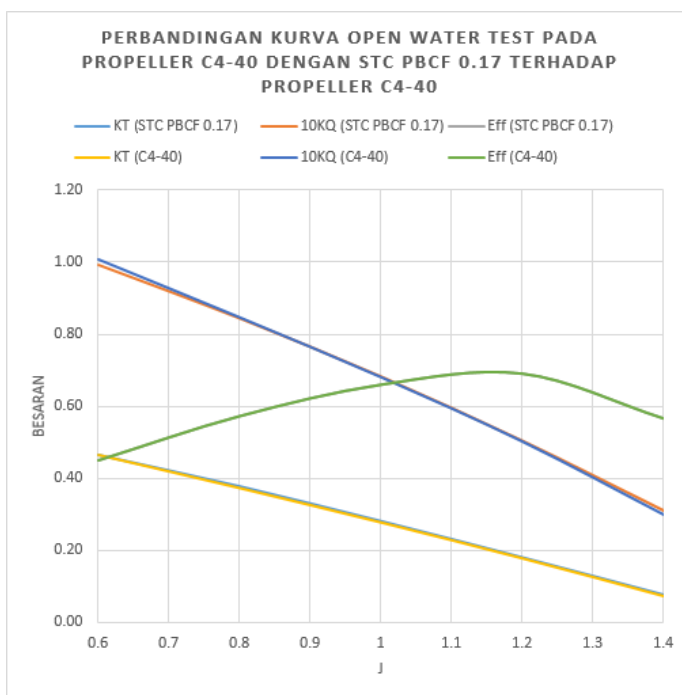
(Sumber : dokumen pribadi)

Dari table 4.11 dapat dilihat bahwa pada PBCF dengan *span to chord ratio* (STC) 0.17 dengan beberapa variasi koefisien *advance* terdapat kenaikan *thrust*, *torque*, maupun efisiensi, kecuali pada koefisien *advance* (J) 0.6 dan 0.8. Pada J 0.6 *propeller* menghasilkan *thrust* sebesar 1081.59, *torque* sebesar 72.98, dan *efficiency* sebesar 0.45. Pada J 0.8 *propeller* menghasilkan *thrust* 879.29, *torque* sebesar 62.03, dan *efficiency* sebesar 0.57. Pada J 1.0 *propeller* menghasilkan *thrust* 655.67, *torque* sebesar 50.14, dan *efficiency* sebesar 0.66. Pada J 1.2 *propeller* menghasilkan *thrust* 422.11, *torque* sebesar 37.01, dan *efficiency* sebesar 0.69. Pada J 1.4 *propeller* menghasilkan *thrust* 181.95, *torque* sebesar 22.73, dan *efficiency* sebesar 0.56.





Gambar 4. 14. Karakteristik *Open Water Test Propeller C4-40* dengan STC 0.17  
(Sumber : dokumen pribadi)



Gambar 4. 15. Perbandingan Kurva *Open Water Test* pada *Propeller C4-40* dengan STC PBCF 0.17 terhadap *propeller C4-40*  
(Sumber : dokumen pribadi)

Dari gambar 4.15 dapat dilihat bahwa pada J 0.6, KT menurun dari angka 0.467 pada *propeller* C4-40 tanpa PBCF menjadi 0.466 *propeller* C4-40 dengan STC PBCF 0.17. Pada J 0.8, KT meningkat dari angka 0.374 menjadi 0.379. Pada J 1.0, KT meningkat dari angka 0.278 menjadi 0.283. Pada J 1.2, KT meningkat dari 0.177 menjadi 0.182. Sedangkan pada J 1.4, KT meningkat 0.072 menjadi 0.078.

Untuk nilai 10KQ, pada J 0.6 nilai 10KQ turun dari 1.009 menjadi 0.994, pada J 0.8, 10KQ menurun dari angka 0.848 menjadi 0.845. Pada J 1.0, 10KQ naik dari angka 0.682 menjadi 0.683. Pada J 1.2, 10KQ memiliki nilai yang tetap yakni 0.504. Sedangkan pada J 1.4, nilai 10KQ naik dari 0.301 menjadi 0.310.

Untuk nilai efisiensi ( $\eta_o$ ), pada J 0.6 nilai  $\eta_o$  naik dari 0.442 menjadi 0.448. Pada J 0.8, nilai  $\eta_o$  naik dari 0.561 menjadi 0.572. Pada J 1.0 nilai  $\eta_o$  naik dari 0.649 menjadi 0.659. Pada J 1.2, nilai  $\eta_o$  naik dari 0.673 menjadi 0.690. Sedangkan pada J 1.4, nilai  $\eta_o$  naik dari 0.533 menjadi 0.565.

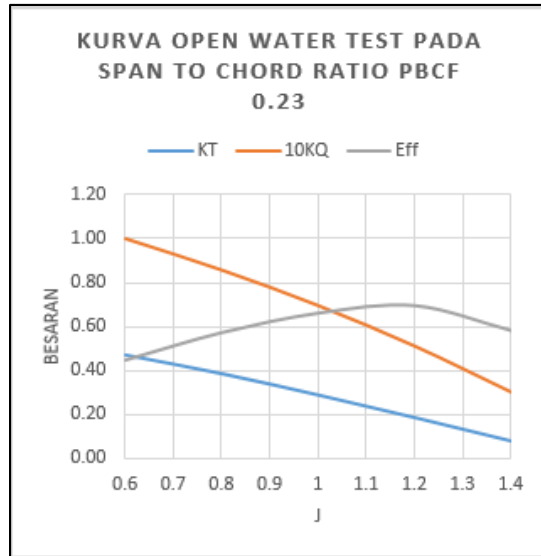
#### 4.7.2. *Propeller open water test* pada C4-40 dengan STC PBCF 0.23

Tabel 4. 12. Analisa *Propeller* C4-40 dengan Span to Chord Rasio PBCF 0.23

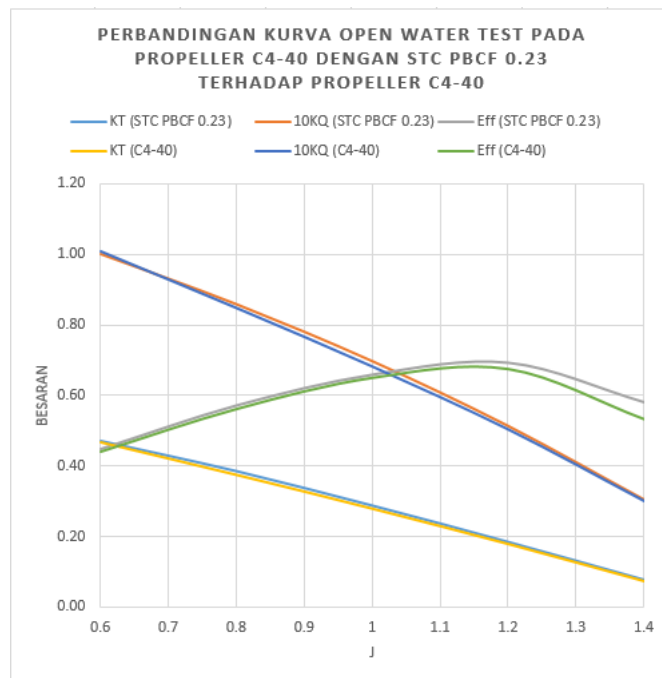
J	C4-40 Tanpa PBCF			C4-40 Dengan Span to Chord Ratio PBCF 0.23							
	T (N)	Q (Nm)	$\eta_o$	T (N)	Q (Nm)	$\eta_o$	T (%)	Q (%)	$\eta_o$ (%)	KT	10KQ
0.6	1082.13	74.10	0.442	1091.13	73.45	0.449	0.83	-0.88	1.72	0.470	1.000
0.8	866.86	62.28	0.561	893.70	62.97	0.572	3.10	1.11	1.97	0.385	0.858
1	644.34	50.09	0.649	668.52	51.12	0.659	3.75	2.06	1.66	0.288	0.696
1.2	411.51	36.98	0.673	430.79	37.61	0.693	4.68	1.69	2.94	0.186	0.512
1.4	166.55	22.07	0.533	183.56	22.28	0.581	10.21	0.97	9.15	0.079	0.303

(Sumber : dokumen pribadi)

Dari table 4.12 dapat dilihat bahwa pada PBCF dengan *span to chord ratio* (STC) 0.23, *thrust*, *torque*, dan efisiensi mengalami kenaikan pada semua koefisien *advance* (J) kecuali pada J 0.6. Pada J 0.6 *propeller* menghasilkan *thrust* sebesar 1091.13, *torque* sebesar 73.45, dan *efficiency* sebesar 0.45. Pada J 0.8 *propeller* menghasilkan *thrust* 893.70, *torque* sebesar 62.97, dan *efficiency* sebesar 0.57. Pada J 1.0 *propeller* menghasilkan *thrust* sebesar 668.52, *torque* sebesar 51.12, dan *efficiency* sebesar 0.66. Pada J 1.2 *propeller* menghasilkan *thrust* 430.79, *torque* sebesar 37.61, dan *efficiency* sebesar 0.69. Pada J 1.4 *propeller* menghasilkan *thrust* 183.56, *torque* sebesar 22.28, dan *efficiency* sebesar 0.58.



Gambar 4. 16. Karakteristik *Open water test Propeller C4-40* dengan STC 0.23  
(Sumber : dokumen pribadi)



Gambar 4. 17. Perbandingan Kurva *open water test* pada *Propeller C4-40* dengan STC PBCF 0.23 terhadap *propeller C4-40*  
(Sumber : dokumen pribadi)

Dari gambar 4.17 dapat dilihat bahwa pada J 0.6, KT meningkat dari angka 0.467 pada *propeller* C4-40 tanpa PBCF menjadi 0.470 *propeller* C4-40 dengan STC PBCF 0.23. Pada J 0.8, KT meningkat dari angka 0.374 menjadi 0.385. Pada J 1.0, KT meningkat dari angka 0.278 menjadi 0.288. Pada J 1.2, KT meningkat dari 0.177 menjadi 0.186. Sedangkan pada J 1.4, KT meningkat 0.072 menjadi 0.079.

Untuk nilai 10KQ, pada J 0.6 nilai 10KQ turun dari 1.009 menjadi 1.000. pada J 0.8, 10KQ meningkat dari angka 0.848 menjadi 0.858. Pada J 1.0, 10KQ naik dari angka 0.682 menjadi 0.696. Pada J 1.2, 10KQ memiliki nilai yang meningkat yakni 0.504 menjadi 0.512. Sedangkan pada J 1.4, nilai 10KQ naik dari 0.301 menjadi 0.303.

Untuk nilai efisiensi ( $\eta_o$ ), pada J 0.6 nilai  $\eta_o$  naik dari 0.442 menjadi 0.449. Pada J 0.8, nilai  $\eta_o$  naik dari 0.561 menjadi 0.572. Pada J 1.0 nilai  $\eta_o$  naik dari 0.649 menjadi 0.659. Pada J 1.2, nilai  $\eta_o$  naik dari 0.673 menjadi 0.693. Sedangkan pada J 1.4, nilai  $\eta_o$  naik dari 0.533 menjadi 0.581.

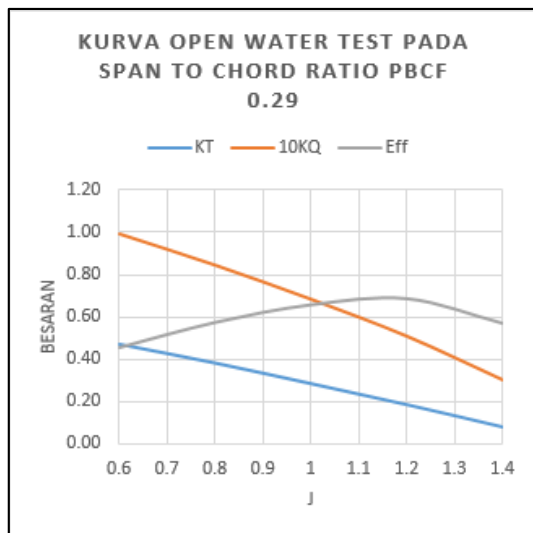
#### 4.7.3. *Propeller open water test* pada C4-40 dengan STC PBCF 0.29

Tabel 4. 13. Analisa *Propeller* C4-40 dengan Span to Chord Rasio PBCF 0.29

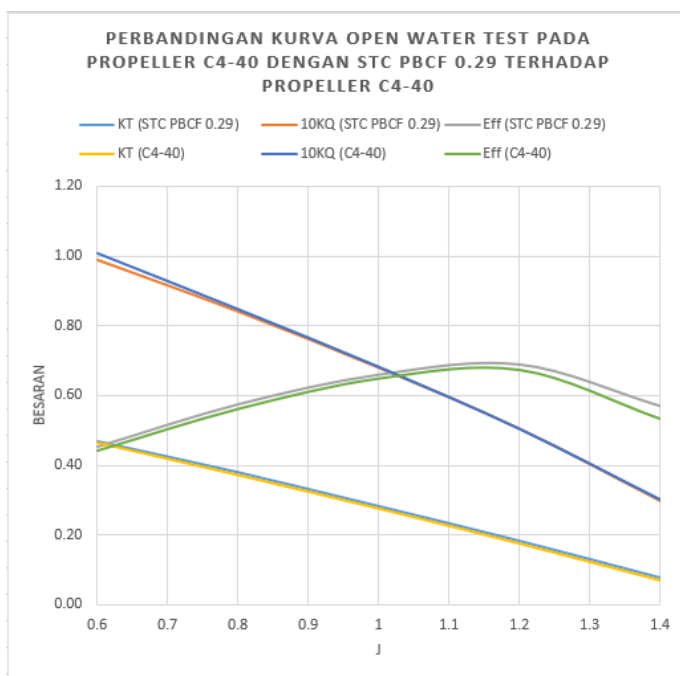
J	C4-40 Tanpa PBCF			C4-40 Dengan Span to Chord Ratio PBCF 0.29							
	T (N)	Q (Nm)	$\eta_o$	T (N)	Q (Nm)	$\eta_o$	T (%)	Q (%)	$\eta_o$ (%)	KT	10KQ
0.6	1082.13	74.10	0.442	1086.69	72.69	0.452	0.42	-1.90	2.37	0.469	0.990
0.8	866.86	62.28	0.561	880.04	61.82	0.574	1.52	-0.75	2.28	0.379	0.842
1	644.34	50.09	0.649	653.68	49.97	0.660	1.45	-0.24	1.69	0.282	0.680
1.2	411.51	36.98	0.673	422.53	37.11	0.689	2.68	0.35	2.32	0.182	0.505
1.4	166.55	22.07	0.533	176.88	21.94	0.569	6.20	-0.58	6.82	0.076	0.299

(Sumber : dokumen pribadi)

Dari table 4.13 dapat dilihat bahwa pada PBCF dengan *span to chord ratio* (STC) 0.29, *thrust* dan efisiensi mengalami kenaikan pada semua koefisien *advance* (J). Pada J 0.6 *propeller* menghasilkan *thrust* sebesar 1086.69, *torque* sebesar 72.69, dan *efficiency* sebesar 0.45. Pada J 0.8 *propeller* menghasilkan *thrust* sebesar 880.04, *torque* sebesar 72.69, dan *efficiency* sebesar 0.57. Pada J 1.0 *propeller* menghasilkan *thrust* sebesar 653.68, *torque* sebesar 49.97, dan *efficiency* sebesar 0.66. Pada J 1.2 *propeller* menghasilkan *thrust* sebesar 422.53, *torque* sebesar 37.11, dan *efficiency* sebesar 0.69. Pada J 1.4 *propeller* menghasilkan *thrust* sebesar 176.88, *torque* sebesar 21.94, dan *efficiency* sebesar 0.57.



Gambar 4. 18. Karakteristik *Open water test* Propeller C4-40 dengan STC 0.29  
(Sumber : dokumen pribadi)



Gambar 4. 19. Perbandingan Kurva *open water test* pada Propeller C4-40 dengan STC PBCF 0.29 terhadap propeller C4-40  
(Sumber : dokumen pribadi)

Dari gambar 4.19 dapat dilihat bahwa pada J 0.6, KT meningkat dari angka 0.467 pada *propeller* C4-40 tanpa PBCF menjadi 0.469 *propeller* C4-40 dengan STC PBCF 0.29. Pada J 0.8, KT meningkat dari angka 0.374 menjadi 0.379. Pada J 1.0, KT meningkat dari angka 0.278 menjadi 0.282. Pada J 1.2, KT meningkat dari 0.177 menjadi 0.182. Sedangkan pada J 1.4, KT meningkat 0.072 menjadi 0.076.

Untuk nilai 10KQ, pada J 0.6 nilai 10KQ turun dari 1.009 menjadi 0.990. pada J 0.8, 10KQ menurun dari angka 0.848 menjadi 0.842. Pada J 1.0, 10KQ turun dari angka 0.682 menjadi 0.680. Pada J 1.2, 10KQ memiliki nilai yang meningkat yakni 0.504 menjadi 0.505. Sedangkan pada J 1.4, nilai 10KQ turun dari 0.301 menjadi 0.299.

Untuk nilai efisiensi ( $\eta_o$ ), pada J 0.6 nilai  $\eta_o$  naik dari 0.442 menjadi 0.452. Pada J 0.8, nilai  $\eta_o$  naik dari 0.561 menjadi 0.574. Pada J 1.0 nilai  $\eta_o$  naik dari 0.649 menjadi 0.660. Pada J 1.2, nilai  $\eta_o$  naik dari 0.673 menjadi 0.689. Sedangkan pada J 1.4, nilai  $\eta_o$  naik dari 0.533 menjadi 0.569.

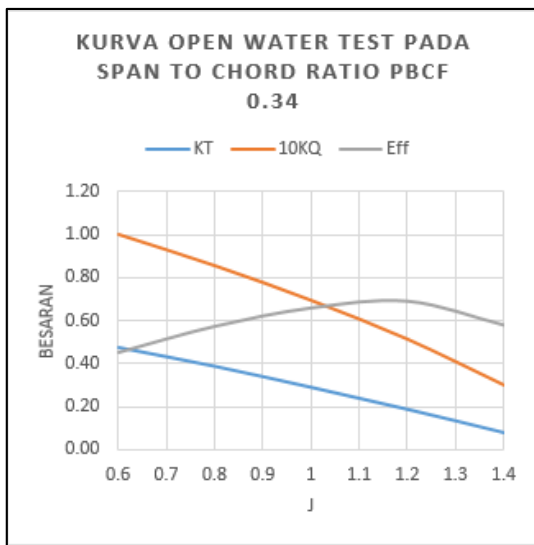
#### 4.7.4. *Propeller open water test* pada C4-40 dengan STC PBCF 0.34

Tabel 4. 14. Analisa *Propeller* C4-40 dengan Span to Chord Rasio PBCF 0.34

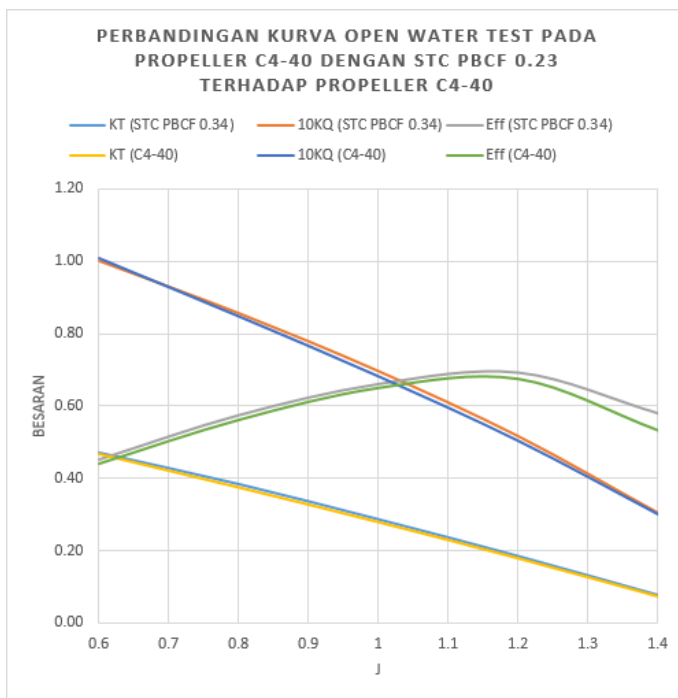
J	C4-40 Tanpa PBCF			C4-40 Dengan Span to Chord Ratio PBCF 0.34							
	T (N)	Q (Nm)	$\eta_o$	T (N)	Q (Nm)	$\eta_o$	T (%)	Q (%)	$\eta_o$ (%)	KT	10KQ
0.6	1082.13	74.10	0.442	1094.80	73.46	0.451	1.17	-0.86	2.05	0.472	1.000
0.8	866.86	62.28	0.561	893.37	62.85	0.573	3.06	0.91	2.13	0.385	0.856
1	644.34	50.09	0.649	667.76	51.07	0.659	3.64	1.96	1.64	0.288	0.695
1.2	411.51	36.98	0.673	432.11	37.85	0.691	5.01	2.34	2.60	0.186	0.515
1.4	166.55	22.07	0.533	182.63	22.28	0.578	9.65	0.98	8.59	0.079	0.303

(Sumber : dokumen pribadi)

Dari table 4.14 dapat dilihat bahwa pada PBCF dengan *span to chord ratio* (STC) 0.34, *thrust*, *torque*, dan efisiensi mengalami kenaikan pada semua koefisien *advance* (J) kecuali pada J 0.6. Pada J 0.6 *propeller* menghasilkan *thrust* sebesar 1094.80, *torque* sebesar 73.46, dan *efficiency* sebesar 0.45. Pada J 0.8 *propeller* menghasilkan *thrust* sebesar 893.37, *torque* sebesar 62.85, dan *efficiency* sebesar 0.57. Pada J 1.0 *propeller* menghasilkan *thrust* sebesar 667.76, *torque* sebesar 51.07, dan *efficiency* sebesar 0.66. Pada J 1.2 *propeller* menghasilkan *thrust* sebesar 432.11, *torque* sebesar 37.85, dan *efficiency* sebesar 0.69. Pada J 1.4 *propeller* menghasilkan *thrust* sebesar 182.63, *torque* sebesar 22.28, dan *efficiency* sebesar 0.58.



Gambar 4. 20. Karakteristik *Open water test Propeller C4-40* dengan STC 0.34 (Sumber : dokumen pribadi)

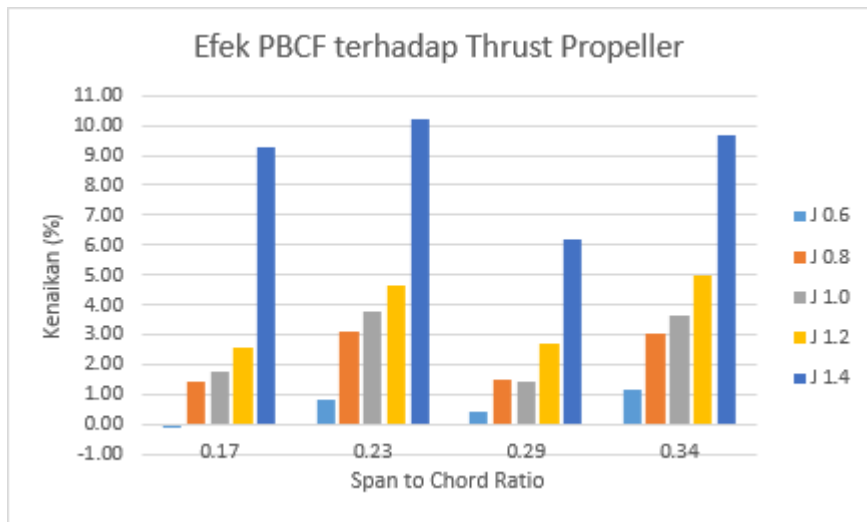


Gambar 4. 21. Perbandingan Kurva *open water test* pada *Propeller C4-40* dengan STC PBCF 0.34 terhadap *propeller C4-40* (Sumber : dokumen pribadi)

Dari gambar 4.21 dapat dilihat bahwa pada J 0.6, KT meningkat dari angka 0.467 pada *propeller* C4-40 tanpa PBCF menjadi 0.472 *propeller* C4-40 dengan STC PBCF 0.34. Pada J 0.8, KT meningkat dari angka 0.374 menjadi 0.385. Pada J 1.0, KT meningkat dari angka 0.278 menjadi 0.288. Pada J 1.2, KT meningkat dari 0.177 menjadi 0.186. Sedangkan pada J 1.4, KT meningkat 0.072 menjadi 0.079.

Untuk nilai 10KQ, pada J 0.6 nilai 10KQ turun dari 1.009 menjadi 1.000. pada J 0.8, 10KQ meningkat dari angka 0.848 menjadi 0.856. Pada J 1.0, 10KQ naik dari angka 0.682 menjadi 0.695. Pada J 1.2, 10KQ memiliki nilai yang meningkat yakni 0.504 menjadi 0.515. Sedangkan pada J 1.4, nilai 10KQ naik dari 0.301 menjadi 0.303.

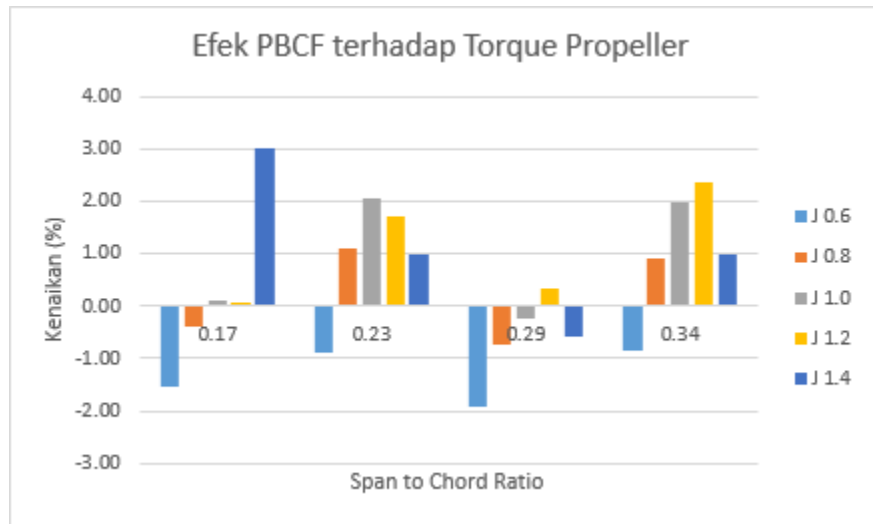
Untuk nilai efisiensi ( $\eta_o$ ), pada J 0.6 nilai  $\eta_o$  naik dari 0.442 menjadi 0.451. Pada J 0.8, nilai  $\eta_o$  naik dari 0.561 menjadi 0.573. Pada J 1.0 nilai  $\eta_o$  naik dari 0.649 menjadi 0.659. Pada J 1.2, nilai  $\eta_o$  naik dari 0.673 menjadi 0.691. Sedangkan pada J 1.4, nilai  $\eta_o$  naik dari 0.533 menjadi 0.578.



Gambar 4. 22. Persentase Kenaikan *Thrust Propeller* C4-40 dengan PBCF (Sumber : dokumen pribadi)

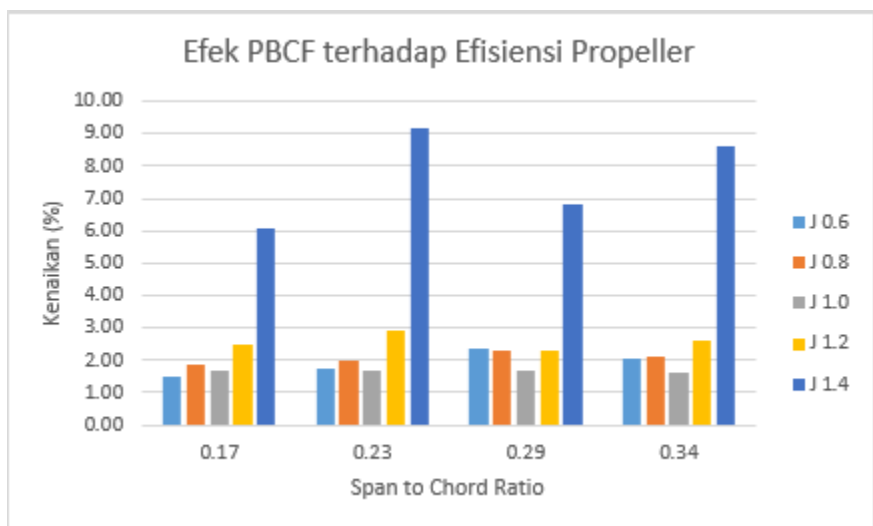
Dari gambar 4.22 dapat dilihat bahwa kenaikan *thrust* pada *propeller* wageningen C4-40 setelah penambahan PBCF dengan span to chord ratio *fin* yang berbeda menghasilkan *thrust* yang fluktuatif antar span to chord ratio *fin*.





Gambar 4. 23. Persentase Kenaikan *Torque Propeller* C4-40 dengan PBCF (Sumber : dokumen pribadi)

Dari gambar 4.23 dapat dilihat bahwa kenaikan torque pada *propeller* wageningen C4-40 setelah penambahan PBCF dengan span to chord ratio *fin* yang berbeda menghasilkan torque yang fluktuatif antar span to chord ratio *fin*.



Gambar 4. 24. Persentase Kenaikan Efisiensi *Propeller* C4-40 dengan PBCF (Sumber : dokumen pribadi)

Gambar 4.24 menunjukkan persentase peningkatan efisiensi pada *propeller* wageningen C4-40 setelah penambahan PBCF dengan *span to chord ratio fin* yang berbeda. Pada grafik tersebut terlihat bahwa efisiensi yang dihasilkan pada setiap *span to chord ratio* yang berbeda menghasilkan efisiensi yang tidak jauh berbeda.

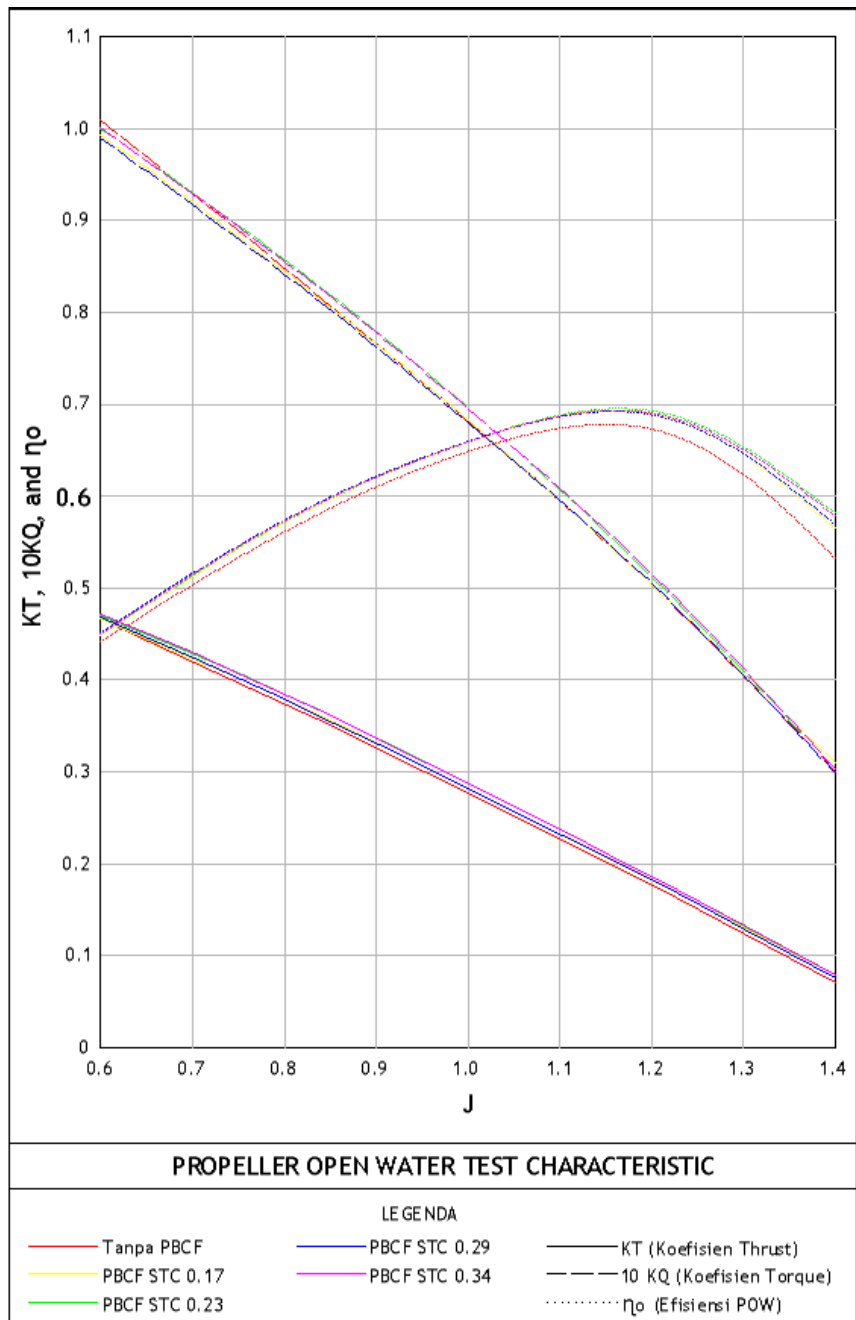
Tabel 4. 15. Rata-rata peningkatan *thrust*, *torque*, dan efisiensi

Propeller	$\bar{T}$ (%)	$\bar{Q}$ (%)	$\bar{\eta}_0$ (%)
C4-40 dengan STC PBCF 0.17	2.99	0.25	2.71
C4-40 dengan STC PBCF 0.23	4.52	0.99	3.49
C4-40 dengan STC PBCF 0.29	2.45	-0.62	3.10
C4-40 dengan STC PBCF 0.34	4.50	1.07	3.40

(Sumber : dokumen pribadi)

Merujuk pada tabel 4.15, meskipun pada *propeller* dengan *span to chord ratio* (STC) 0.23 dan 0.34 memiliki rata-rata peningkatan *thrust* yang tinggi, namun pada *propeller* dengan *span to chord ratio* tersebut juga memiliki rata-rata peningkatan torsi yang tinggi. Hal tersebut mengakibatkan efisiensi dari *propeller* tersebut tidak jauh berbeda dengan *propeller* yang memiliki *span to chord ratio* PBCF 0.29. Dapat dilihat pada table 4.15, rata-rata peningkatan *thrust* pada *propeller* dengan *span to chord ratio* PBCF 0.29 adalah yang paling rendah yaitu 2.45, namun rata-rata torsi yang dihasilkan menurun. Hal tersebut mengakibatkan *propeller* dengan *span to chord ratio* PBCF 0.29 memiliki efisiensi yang hampir mendekati efisiensi *propeller* dengan *span to chord ratio* 0.23 dan 0.34.

#### 4.7.5. Perbandingan Karakteristik *Open water test Propeller* C4-40 dan Propeller C4-40 dengan PBCF

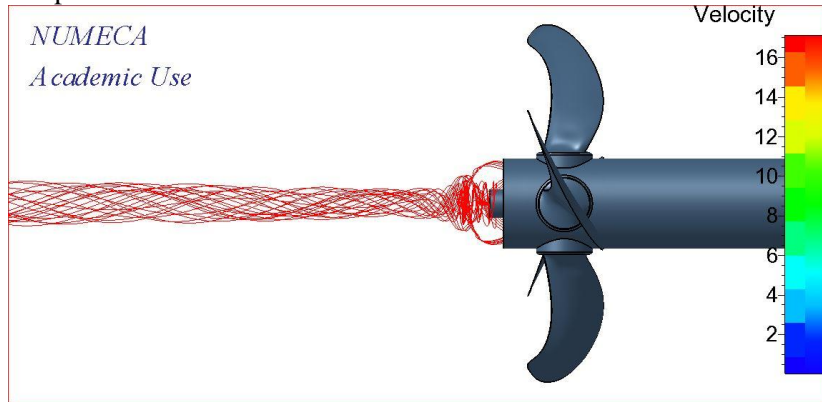


Gambar 4. 25. Perbandingan Karakteristik *Open water test* Propeller C4-40 dan Propeller C4-40 dengan PBCF  
(Sumber : dokumen pribadi)

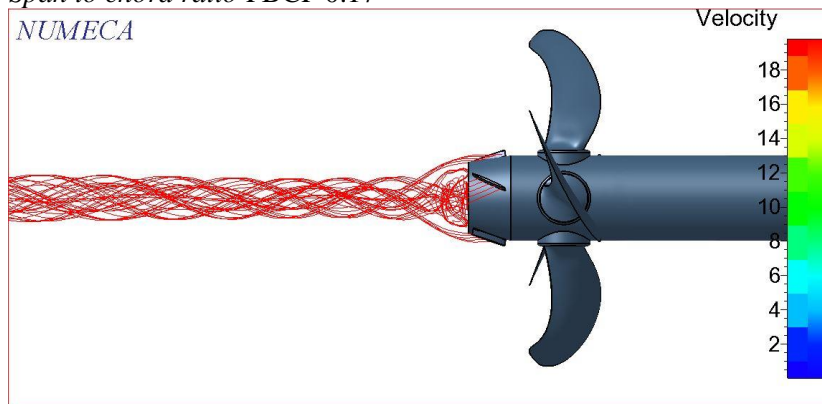
## 4.7.6. Aliran

## 1. J0.6

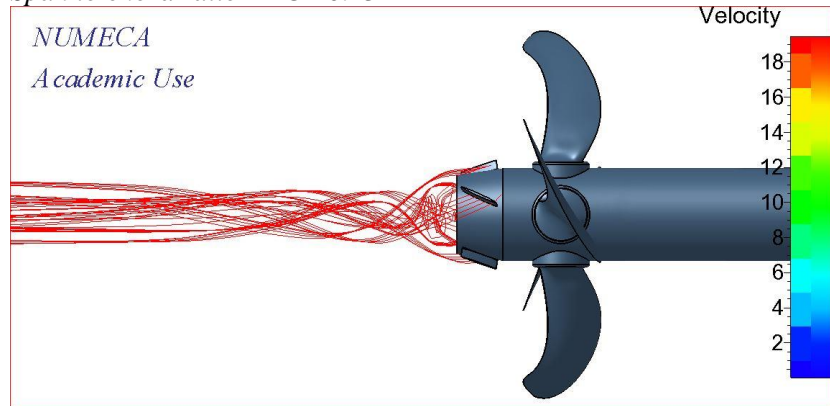
## ❖ Tanpa PBCF



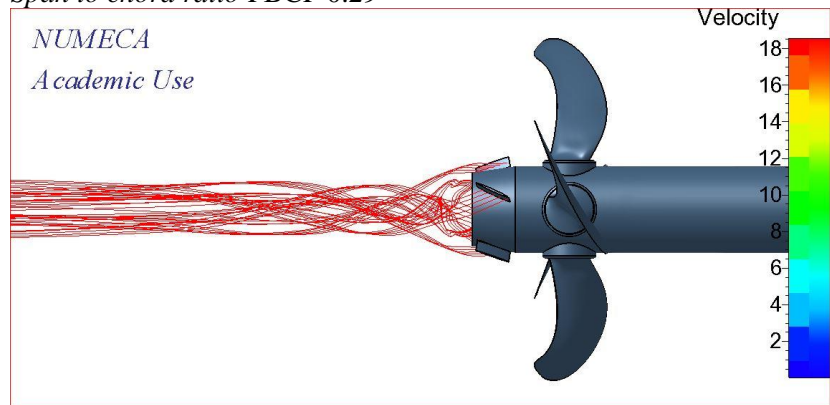
Gambar 4. 26. Aliran Pada *Propeller C4-40* dengan J0.6  
(Sumber : dokumen pribadi)

❖ *Span to chord ratio* PBCF 0.17

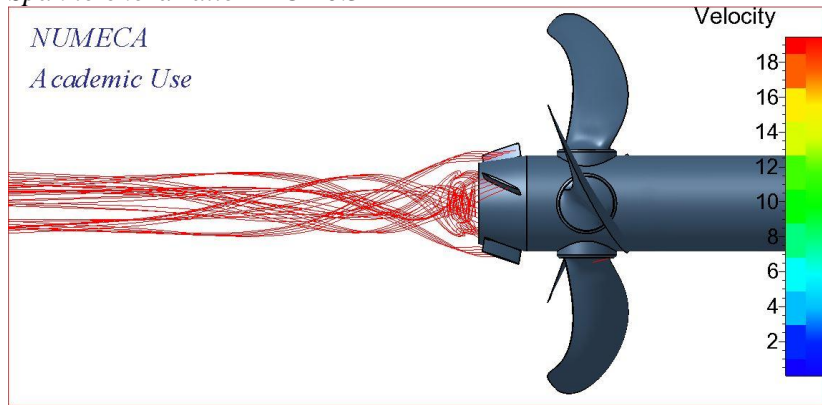
Gambar 4. 27. Aliran Pada J0.6 dengan *Span to chord ratio* PBCF 0.17  
(Sumber : dokumen pribadi)

❖ *Span to chord ratio PBCF 0.23*

Gambar 4. 28. Aliran Pada J0.6 dengan *Span to chord ratio* PBCF 0.23  
(Sumber : dokumen pribadi)

❖ *Span to chord ratio PBCF 0.29*

Gambar 4. 29. Aliran Pada J0.6 dengan *Span to chord ratio* PBCF 0.29  
(Sumber : dokumen pribadi)

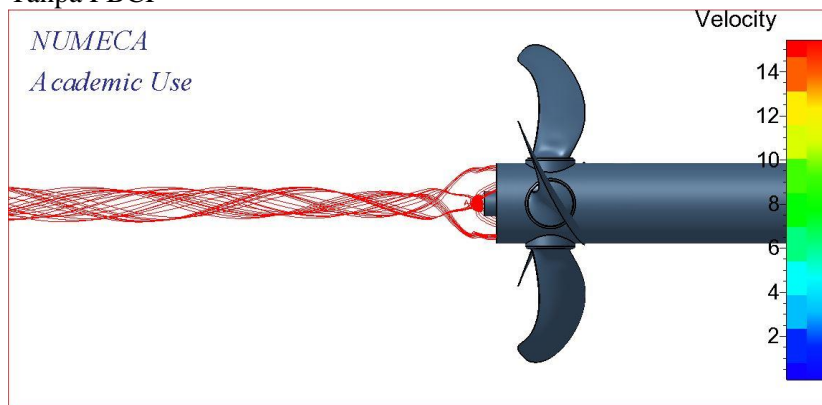
❖ *Span to chord ratio* PBCF 0.34

Gambar 4. 30. Aliran Pada J0.6 dengan *Span to chord ratio* PBCF 0.34  
(Sumber : dokumen pribadi)

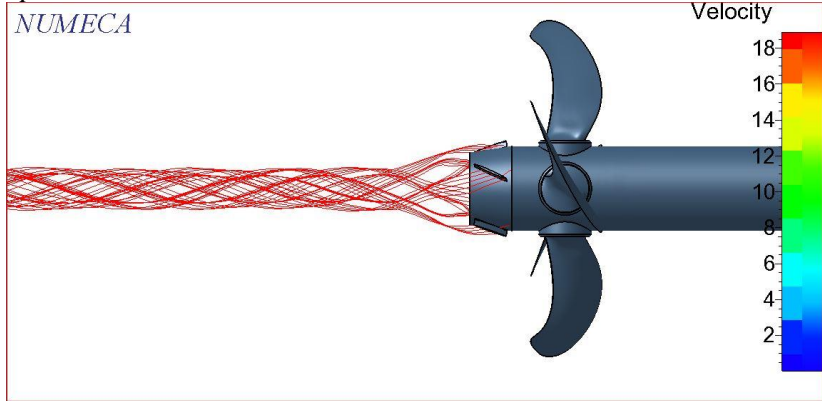
Dari gambar 4.26, hingga 4.30 dapat dilihat bahwa aliran pada hub *propeller* mebesar setelah ditambahkan PBCF. Pada gambar 4.26 terlihat bahwa pusaran pada poros hub terjadi turbulensi dan memusat. Namun, pada gambar 4.27 hingga 4.30 aliran pada poros hub terlihat memecah, berkurang, dan lenyap. Perubahan *span to chord ratio* PBCF berdampak pada aliran hub yang semakin membesar. Hal tersebut dapat dikorelasikan dengan peningkatan *thrust* dan torsi pada table 4.11 hingga 4.14. berkurangnya hub vortex menyebabkan peningkatan pada *thrust* dan torsi.

## 2. J0.8

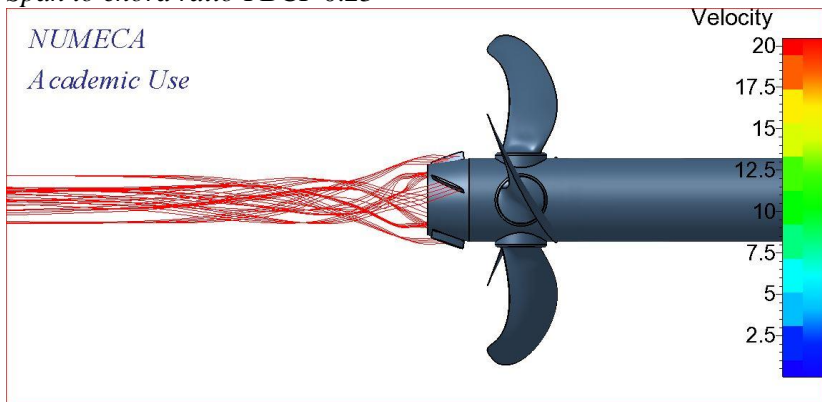
## ❖ Tanpa PBCF



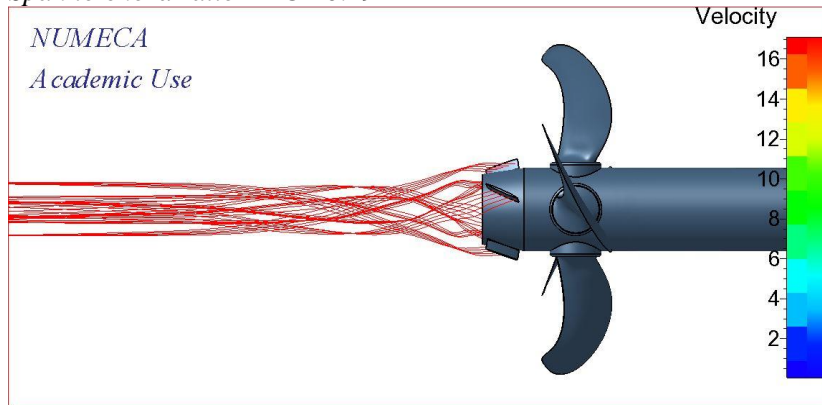
Gambar 4. 31. Aliran Pada *Propeller* C4-40 dengan J0.8  
(Sumber : dokumen pribadi)

❖ *Span to chord ratio PBCF 0.17*

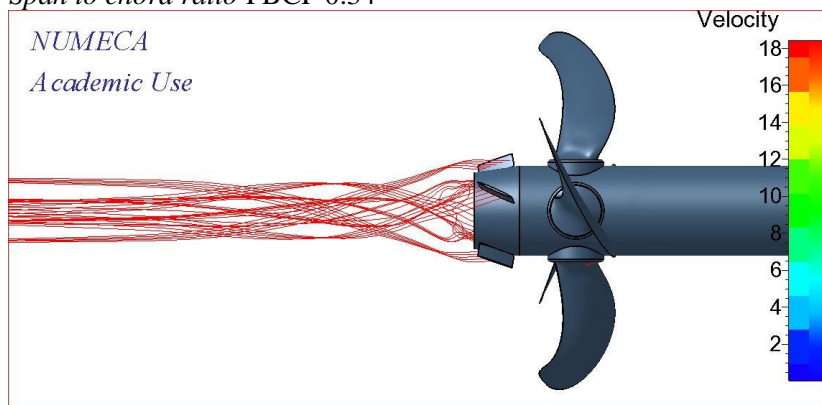
Gambar 4. 32. Aliran Pada J0.8 dengan *Span to chord ratio* PBCF 0.17  
(Sumber : dokumen pribadi)

❖ *Span to chord ratio PBCF 0.23*

Gambar 4. 33. Aliran Pada J0.8 dengan *Span to chord ratio* PBCF 0.23  
(Sumber : dokumen pribadi)

❖ *Span to chord ratio PBCF 0.29*

Gambar 4. 34. Aliran Pada J0.8 dengan *Span to chord ratio* PBCF 0.29  
(Sumber : dokumen pribadi)

❖ *Span to chord ratio PBCF 0.34*

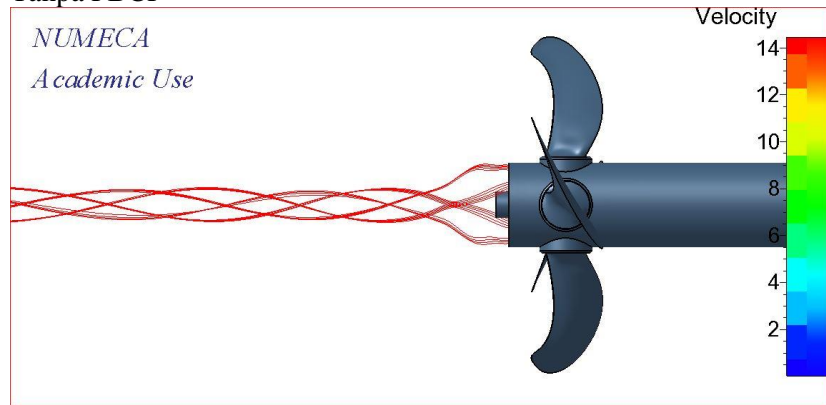
Gambar 4. 35. Aliran Pada J0.8 dengan *Span to chord ratio* PBCF 0.34  
(Sumber : dokumen pribadi)

Pada gambar 4.31 hingga 4.35 memperlihatkan perbedaan aliran pada *propeller* C4-40 dengan dan tanpa PBCF pada J 0.8. Gambar 4.31 memperlihatkan aliran pada *propeller* tanpa PBCF, sedangkan gambar 4.32 hingga 4.35 memperlihatkan aliran pada *propeller* dengan penambahan PBCF. Pada gambar 4.31 tampak aliran pada hub memiliki diameter kecil serta memusat. Pada gambar 4.32 tampak aliran pada hub melebar, begitupun dengan gambar 4.33 hingga 4.34 dimana rasio *span to chord* PBCF diperbesar. Pada *span to chord ratio* 0.34, aliran pada hub lebih besar daripada aliran pada hub ketika *span to chord ratio* 0.17, 0.23, dan 0.29. pada keadaan tersebut juga dapat dilihat bahwa *hub vortex* sudah lenyap, hal tersebut terlihat dari aliran yang laminar pada hub.

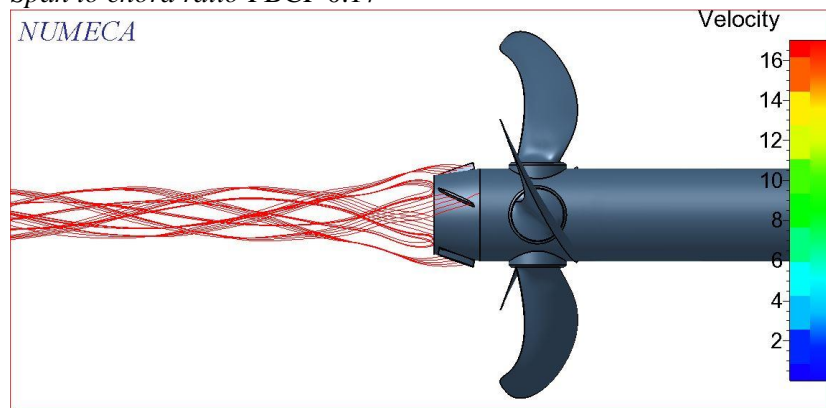


## 3. J1.0

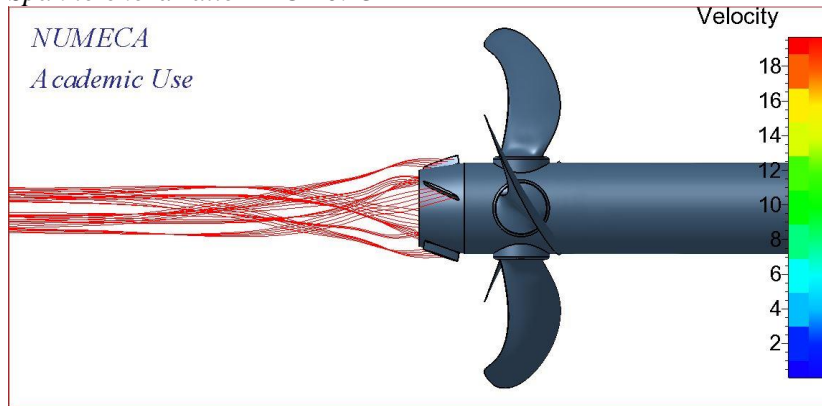
## ❖ Tanpa PBCF



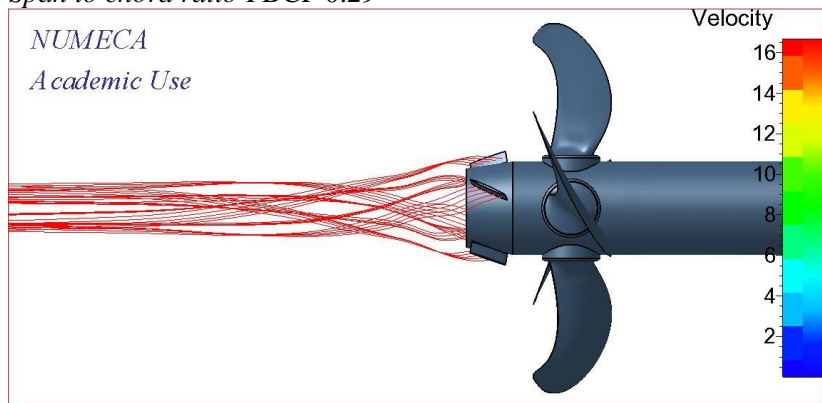
Gambar 4. 36. Aliran Pada *Propeller C4-40* dengan J1.0  
(Sumber : dokumen pribadi)

❖ *Span to chord ratio* PBCF 0.17

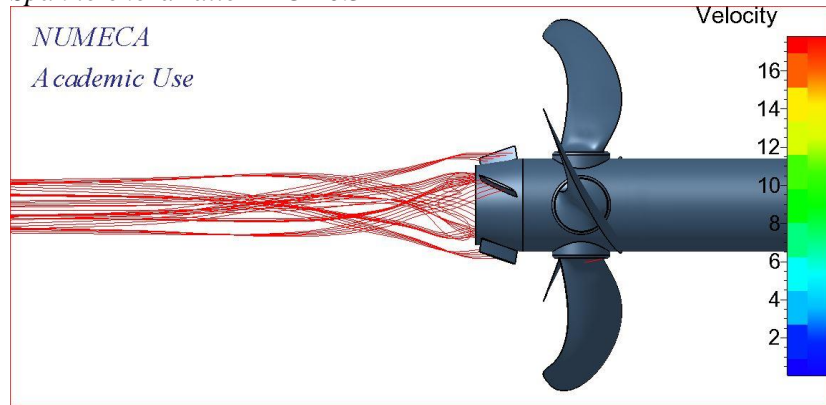
Gambar 4. 37. Aliran Pada J1.0 dengan *Span to chord ratio* PBCF 0.17  
(Sumber : dokumen pribadi)

❖ *Span to chord ratio PBCF 0.23*

Gambar 4. 38. Aliran Pada J1.0 dengan *Span to chord ratio* PBCF 0.23  
(Sumber : dokumen pribadi)

❖ *Span to chord ratio PBCF 0.29*

Gambar 4. 39. Aliran Pada J1.0 dengan *Span to chord ratio* PBCF 0.29  
(Sumber : dokumen pribadi)

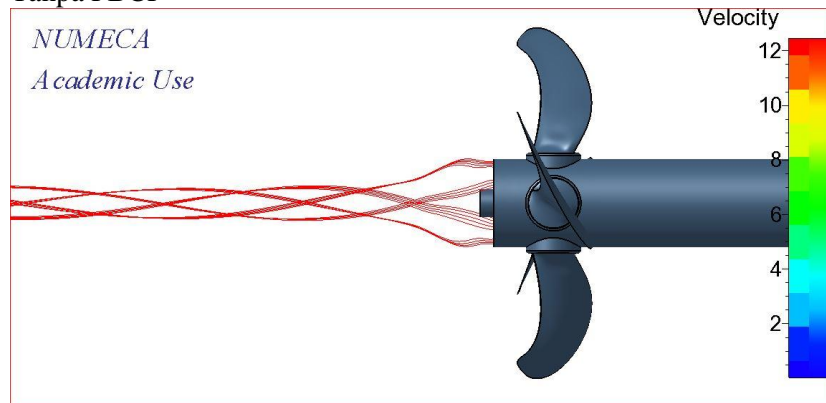
❖ *Span to chord ratio PBCF 0.34*

Gambar 4. 40. Aliran Pada J1.0 dengan *Span to chord ratio* PBCF 0.34  
(Sumber : dokumen pribadi)

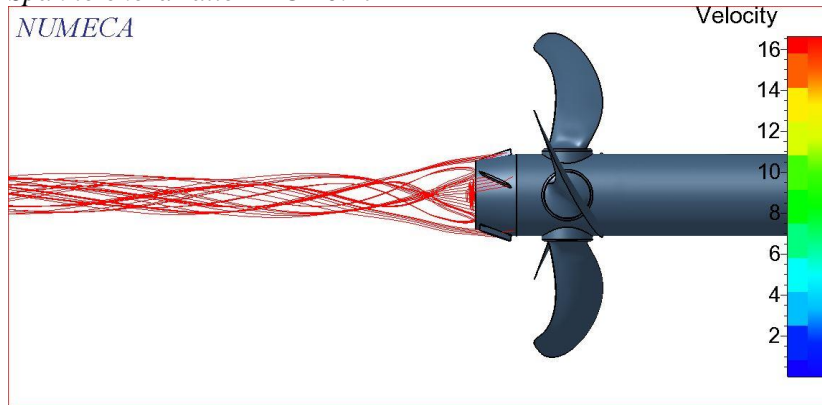
Pada 4.36 hingga 4.40 memperlihatkan aliran pada *propeller* C4-40 dengan dan tanpa PBCF pada J 1.0. Pada gambar 4.36 memperlihatkan aliran pada *propeller* C4-40 tanpa PBCF. Pada gambar tersebut terlihat bahwa aliran pada hub terjadi turbulensi dan memusat. Pada gambar 4.37 aliran pada belakang hub terlihat mulai memecah dan merenggang. Pada gambar 4.38 aliran pada bagian belakang hub sudah laminar, atau bias disebut bahwa hub vortex telah lenyap. Begitupun dengan aliran pada *propeller* C4-40 dengan *span to chord ratio* PBCF 0.29 dan 0.34.

## 4. J1.2

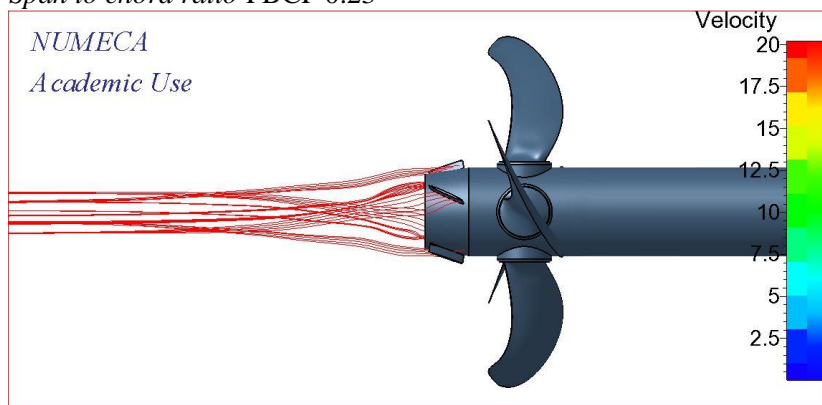
## ❖ Tanpa PBCF



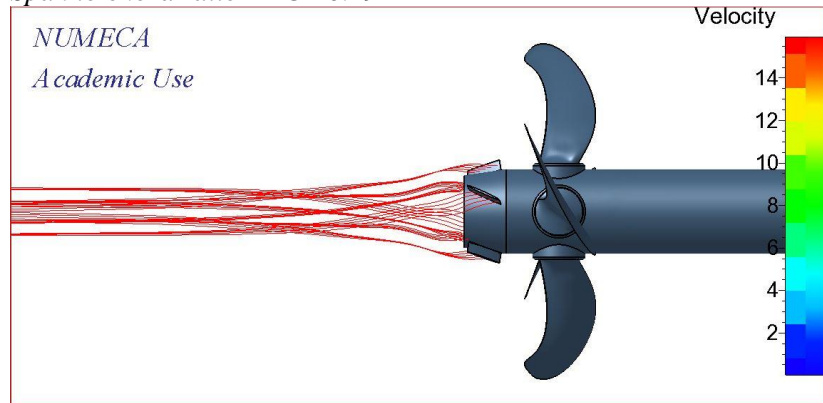
Gambar 4. 41. Aliran Pada *Propeller* C4-40 dengan J1.2  
(Sumber : dokumen pribadi)

❖ *Span to chord ratio PBCF 0.17*

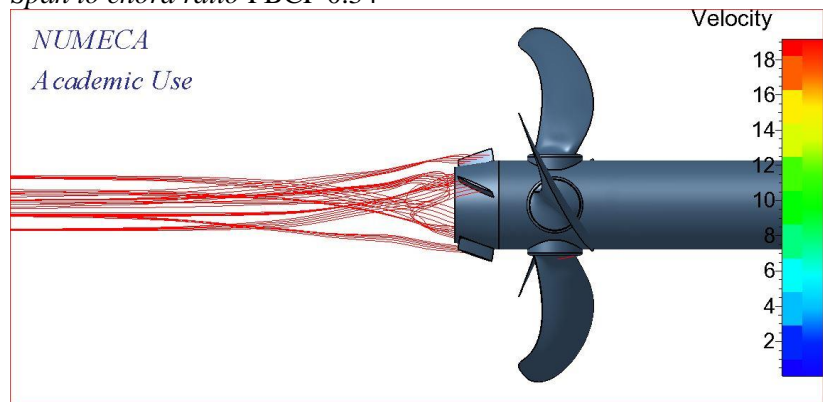
Gambar 4. 42. Aliran Pada J1.2 dengan *Span to chord ratio* PBCF 0.17  
(Sumber : dokumen pribadi)

❖ *Span to chord ratio PBCF 0.23*

Gambar 4. 43. Aliran Pada J1.2 dengan *Span to chord ratio* PBCF 0.23  
(Sumber : dokumen pribadi)

❖ *Span to chord ratio PBCF 0.29*

Gambar 4. 44. Aliran Pada J1.2 dengan *Span to chord ratio* PBCF 0.29  
(Sumber : dokumen pribadi)

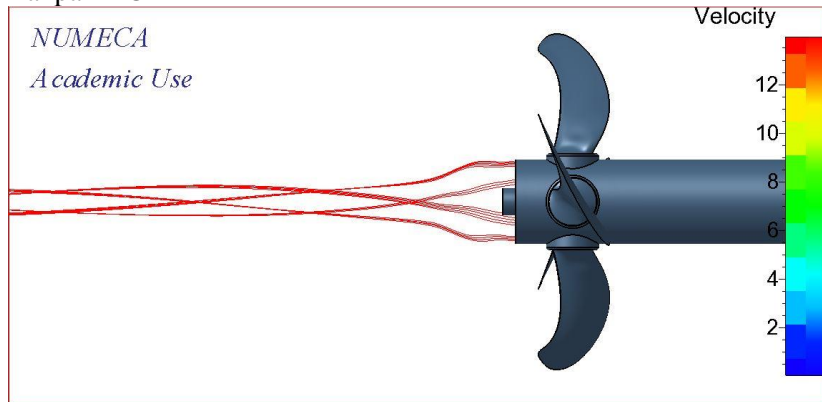
❖ *Span to chord ratio PBCF 0.34*

Gambar 4. 45. Aliran Pada J1.2 dengan *Span to chord ratio* PBCF 0.34  
(Sumber : dokumen pribadi)

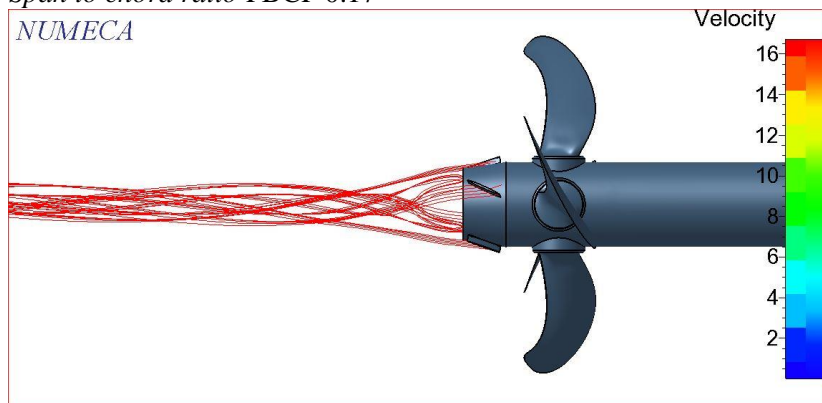
Gambar 4.41 hingga 4.45 memperlihatkan aliran pada *propeller* C4-40 dengan dan tanpa PBCF pada J 1.2. Pada gambar 4.41 memperlihatkan aliran pada *propeller* C4-40 tanpa PBCF. Aliran pada pada gambar tersebut terlihat memusat dengan diameter kecil, dan dapat disebutkan memiliki *hub vortex* yang kuat. Pada gambar 4.42 terlihat bahwa aliran pada *hub vortex* sudah mulai merenggang. Pada gambar 4.43, aliran pada bagian belakang *hub* sudah laminar, dan dapat dinyatakan bahwa *hub vortex* telah lenyap. Hal tersebut juga terjadi pada gambar 4.44 dan 4.45.

## 5. J1.4

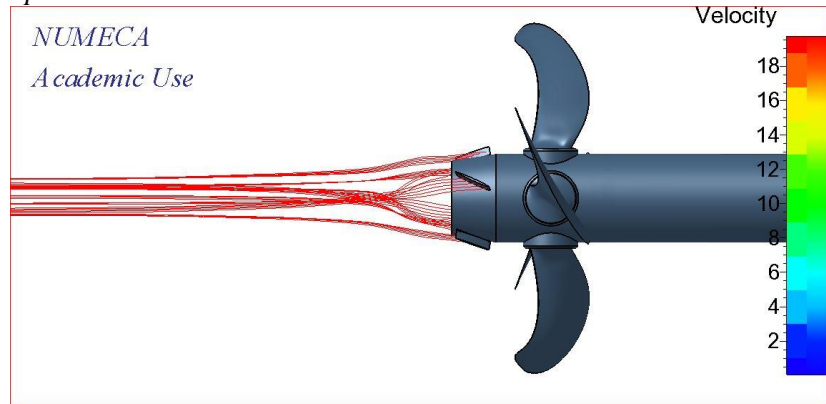
## ❖ Tanpa PBCF



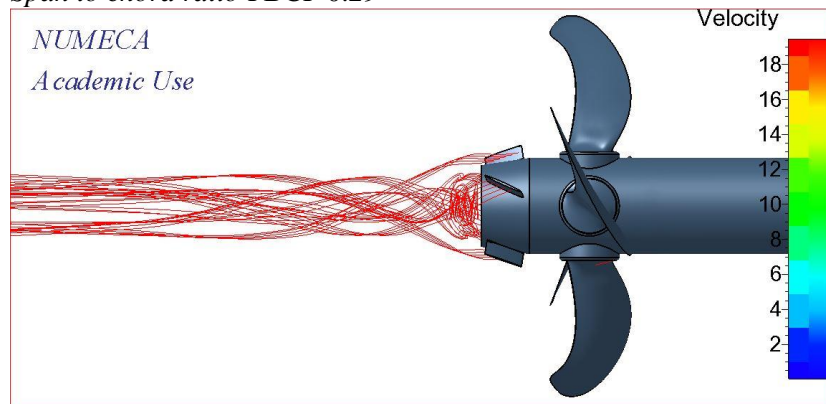
Gambar 4. 46. Aliran Pada *Propeller C4-40* dengan J1.4  
(Sumber : dokumen pribadi)

❖ *Span to chord ratio* PBCF 0.17

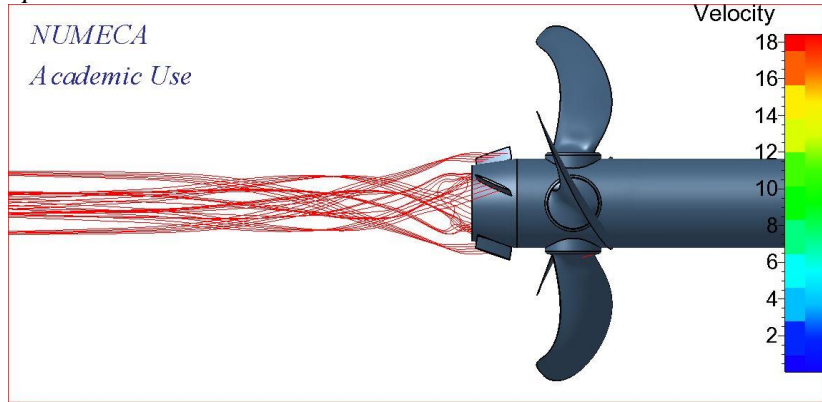
Gambar 4. 47. Aliran Pada J1.4 dengan *Span to chord ratio* PBCF 0.17  
(Sumber : dokumen pribadi)

❖ *Span to chord ratio* PBCF 0.23

Gambar 4. 48. Aliran Pada J1.4 dengan *Span to chord ratio* PBCF 0.23  
(Sumber : dokumen pribadi)

❖ *Span to chord ratio* PBCF 0.29

Gambar 4. 49. Aliran Pada J1.4 dengan *Span to chord ratio* PBCF 0.29  
(Sumber : dokumen pribadi)

❖ *Span to chord ratio* PBCF 0.34

Gambar 4. 50. Gambar 4. 40. Aliran Pada J1.4 dengan *Span to chord ratio* PBCF 0.34

(Sumber : dokumen pribadi)

Gambar 4.46 hingga 4.50 memperlihatkan aliran pada *propeller* C4-40 dengan dan tanpa PBCF pada J 1.4. Pada gambar 4.46 memperlihatkan aliran pada *propeller* C4-40 tanpa PBCF. Aliran pada pada gambar tersebut terlihat memusat. Pada gambar 4.47, aliran pada hub terlihat membesar. Pada gambar 4.48, aliran sudah laminar dan *hub vortex* dapat dikatakan menghilang. Terjadi keanehan aliran pada *propeller* dengan *span to chord ratio* PBCF 0.29 dan 0.34, dimana adanya tambahan aliran turbulensi. Hal tersebut mungkin terjadi karena anomali pada hasil simulasi *open water test*.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Penambahan PBCF dapat meningkatkan *thrust*, torque, dan efisiensi. Pada *propeller* C4-40 dengan *span to chord ratio* PBCF 0.17 peningkatan *thrust* rata-rata 2.99%, torsi sebesar 0.25%, dan efisiensi sebesar 2.71%. Pada *propeller* C4-40 dengan *span to chord ratio* PBCF 0.23 peningkatan *thrust* rata-rata 4.52%, torsi sebesar 0.99%, dan efisiensi sebesar 3.49%. Pada *propeller* C4-40 dengan *span to chord ratio* PBCF 0.29 peningkatan *thrust* rata-rata 2.45%, torsi menurun sebesar 0.62%, dan efisiensi sebesar 3.10%. Pada *propeller* C4-40 dengan *span to chord ratio* PBCF 0.34 peningkatan *thrust* rata-rata 4.55%, torsi sebesar 1.07%, dan efisiensi sebesar 3.41%. Namun perubahan *span to chord ratio* PBCF tidak berdampak besar pada peningkatan *thrust*, torque, dan efisiensi.
2. Memperbesar *span to chord ratio* PBCF dapat mengurangi *hub vortex* pada *propeller*.

#### 5.2. Saran

Berdasarkan simulasi dan analisa data yang telah dilakukan pada penelitian ini, penulis menyarankan untuk :

1. Melakukan eksperimen *propeller open water test*.

Saran tersebut berguna untuk memantapkan hasil penelitian yang dilakukan mengenai *propeller* boss cap fins.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Muh Zainal. dkk. (2013). *ANALISA PERFORMANCE PROPELLER B-SERIES DENGAN PENDEKATAN STRUCTURE DAN UNSTRUCTURE MESHING. JURNAL TEKNIK ITS-Vol.1, NO.1, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.*
- Oloan, Achdri Fauzi Nugraha. (2018). *ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN BOSS CAP FINS PADA PROPELLER B-SERIES DENGAN PENDEKATAN METODE CFD, SKRIPSI*, Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Lim, Sang-Seop. dkk. (2014). *PARAMETRIC STUDY OF PROPELLER BOSS CAP FINS FOR CONTAINER SHIP. IJNAOE, Graduate School of Mechanical and Precision Engineering, Pusan National University, Busan.*
- Trimulyono, Andi. dkk. (2013). *PENGARUH PENGGUNAAN ENERGY SAVING DEVICE PADA PROPELLER B4 55 DENGAN METODE CFD. KAPAL-Vol.10, NO.3, Program Studi SI Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang.*
- Mizzi, Kurt. dkk. (2017). *DESIGN OPTIMISATION OF PROPELLER BOSS CAP FINS FOR ENHANCED PROPELLER PERFORMANCE. Applied Ocean Research 62, Department of Naval Architecture, Ocean and Marine Engineering, University of Strathclyde, Glasgow.*
- Seo, Jeonghwa. dkk. (2016). *INFLUNCE OF DESIGN PARAMETER VARIATIONS FOR PROPELLER-BOSS-CAP-FINS ON HUB VORTEX REDUCTION. Journal of Ship Research, Vol. 60, No. 4, Seoul National University, Seoul, Korea.*
- Suranto, Maful. (2018). *ANALISA KAVITASI SURFACE PADA DAUN PROPELLER WAGENINGEN SERIES C4-40 DENGAN CFD, SKRIPSI*, Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- ITTC. (2011). *Practical Guidelines for Ship CFD Application. ITTC – RECOMMENDED PROCEDURES AND GUIDELINES.*
- Ochi, Fumitoshi. (2009). *SIMULATION OF PROPELLER HUB VORTEX FLOW, First International Symposium on Marine Propulsors, Ship and Marine Technology Department, Product Development Center, IHI Corporation, Yokohama.*
- PBCF., February, 2019. Mechanism & Effect, <URL : <http://www.pbcf.jp/english/technology/index.html>>.
- Carlton, John. (2012). *MARINE PROPELLERS AND PROPULSION.* Great Britain. Butterworth-Heinemann.

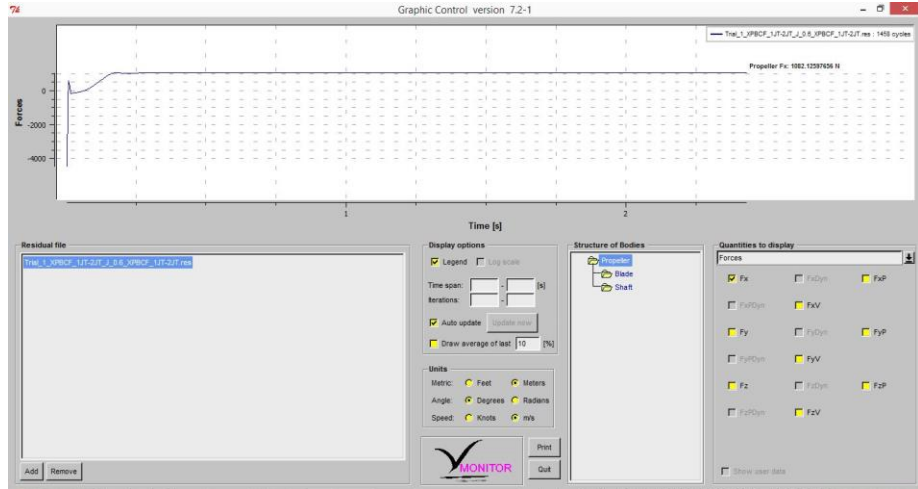
- Wirai, Ahmad Ibnu. (2016). *ANALISA PERFORMANCE PROPELLER AU SERIES MENGGUNAKAN METODE CFD, SKRIPSI*, Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- ITTC. (1963). Testing and Extrapolation Methods, General Density and Viscosity of Water. ITTC – RECOMMENDED PROCEDURES AND GUIDELINES.
- Hartanto, Tri. (2015). *ANALISA AERODINAMIKA FLAP DAN SLAT PADA AIRFOIL NACA 2410 TERHADAP KOEFISIEN LIFT DAN KOEFISIEN DRAG DENGAN METODE COPUTATIONAL FLUID DYNAMIC, KARYA ILMIAH*, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Putra, Garry Raditya. Dkk. (2016). *STUDI KASUS : PENERAPAN ENERGY SAVING DEVICE DALAM RANGKA MENAIKKAN EFISIENSI THRUST PADA KAPAL TANKER PERTAMINA 40000 LTDW, Jurnal Teknik ITS Vol. 5, Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.*
- Mitsui O.S.K. Lines, Ltd., 2017, "PBCF" Selected for Equipment Designated by Port of Vancouver's Environmental Program - Technology to Reduce Environmental Impact Highly Evaluated, <https://www.mol.co.jp/en/pr/2017/17005.html>, 29 April 2019.
- Ouchi, Kazuyuki. (1988). EFFECT AND APPLICATION OF PBCF (*PROPELLER BOSS CAP FINS*). Journal of the M.E.S.J., Vol.27, No.9.
- Dang, Jie. dkk. (2012). Quasi-Steady Two-Quadrant *Open water tests* for the Wageningen *Propeller C-* and *D-Series*. Twenty-Ninth Symposium on Naval Hydrodynamics Gothenburg, Sweden.
- Dang, J. dkk. (2013). *The Wageningen C- and D-Series Propellers*. MARIN, The Netherlands.
- Febriyanto, Erick. (2013). *ANALISA KINERJA PROPELLER B-SERIES TERHADAP PENGURANGAN LUASAN BLADE PADA CONTROLLABLE PITCH PROPELLER DI DAERAH ANTARA HUB DAN BLADE*, Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

## LAMPIRAN

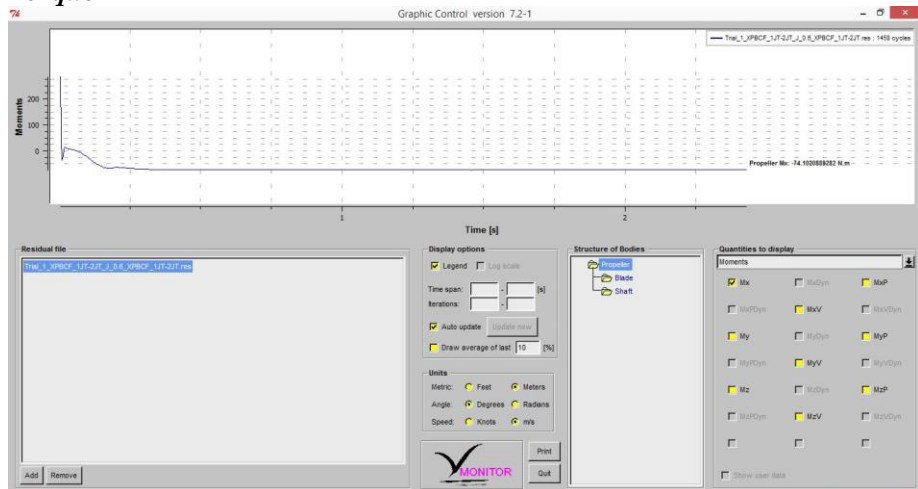
### 1. Propeller C4-40 Tanpa PBCF

#### a. J 0.6

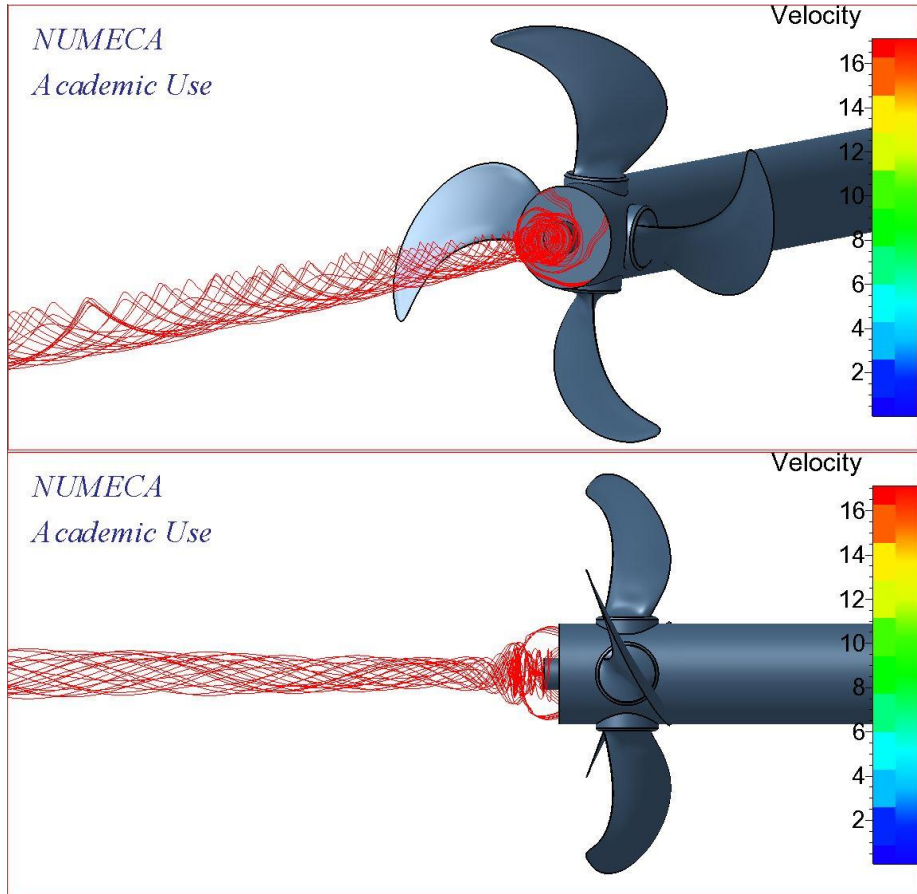
#### ❖ Thrust



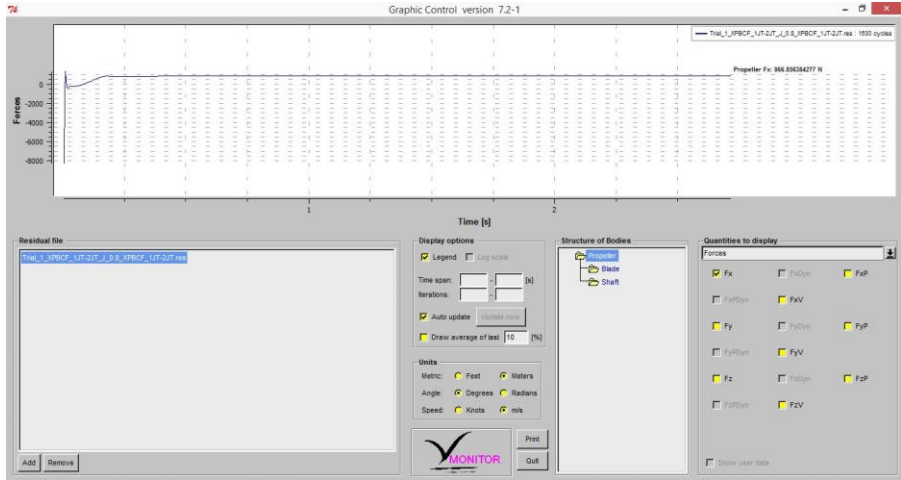
#### ❖ Torque



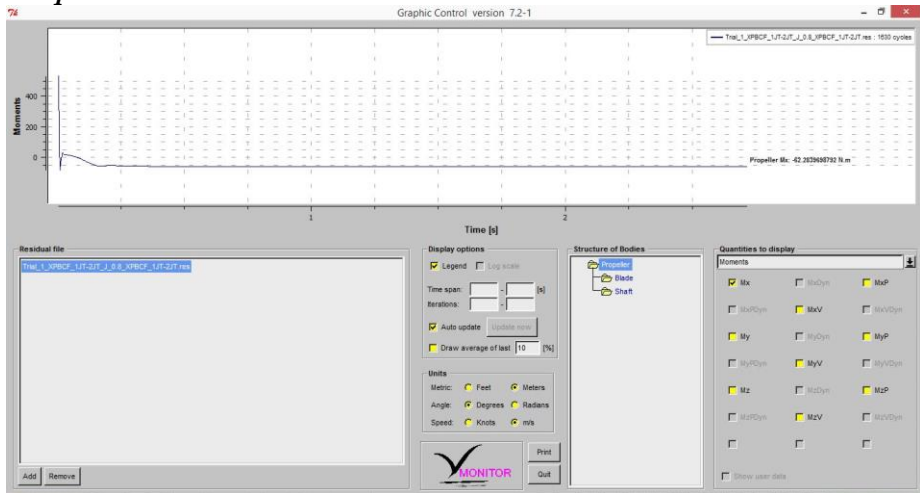
❖ **Aliran**



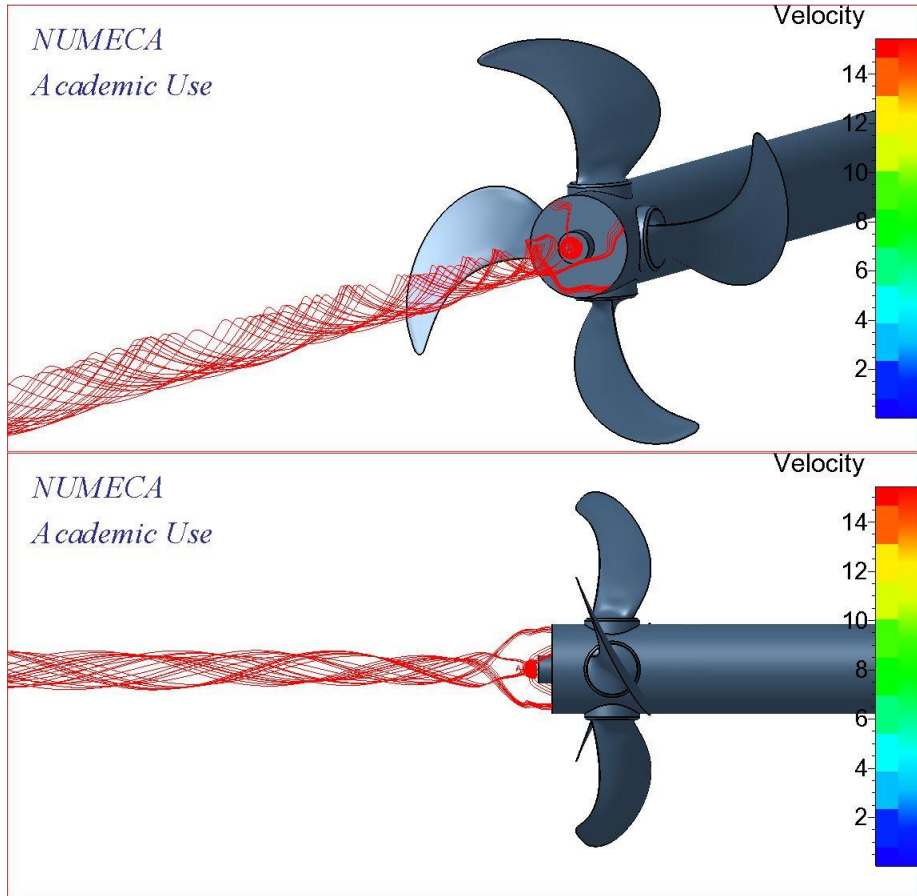
**b. J 0.8**  
❖ **Thrust**



❖ **Torque**

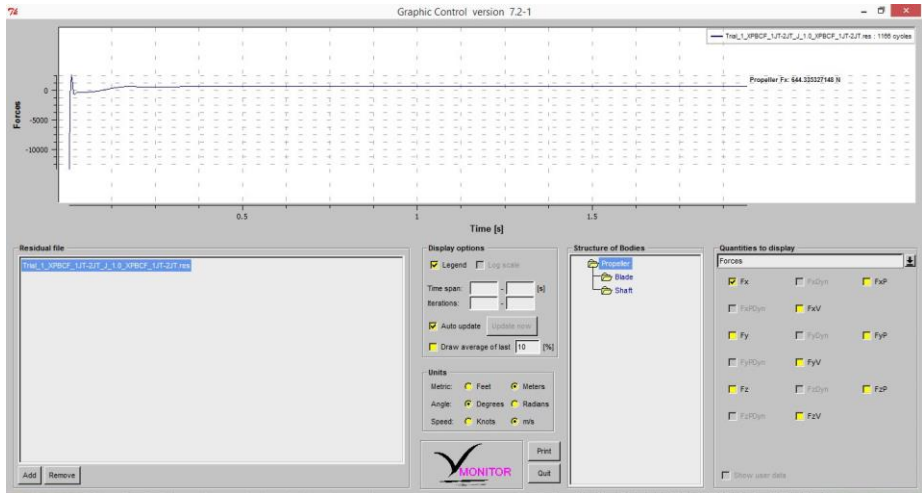


❖ **Aliran**

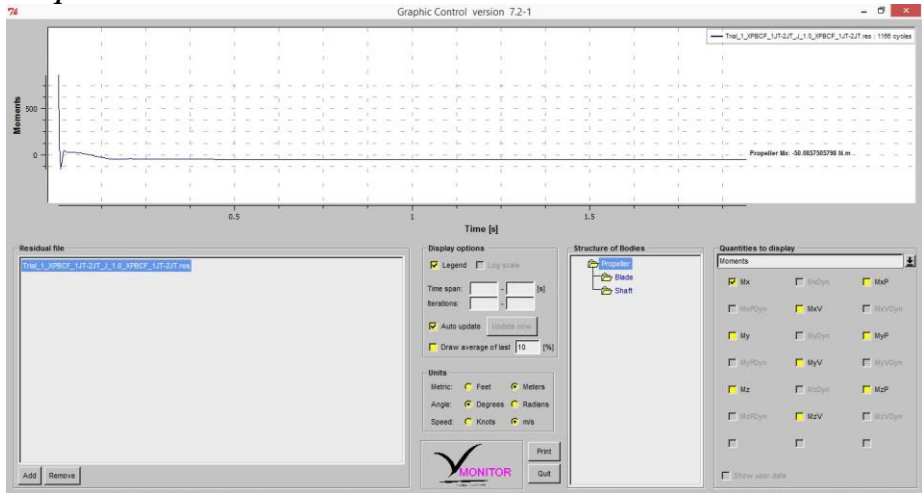


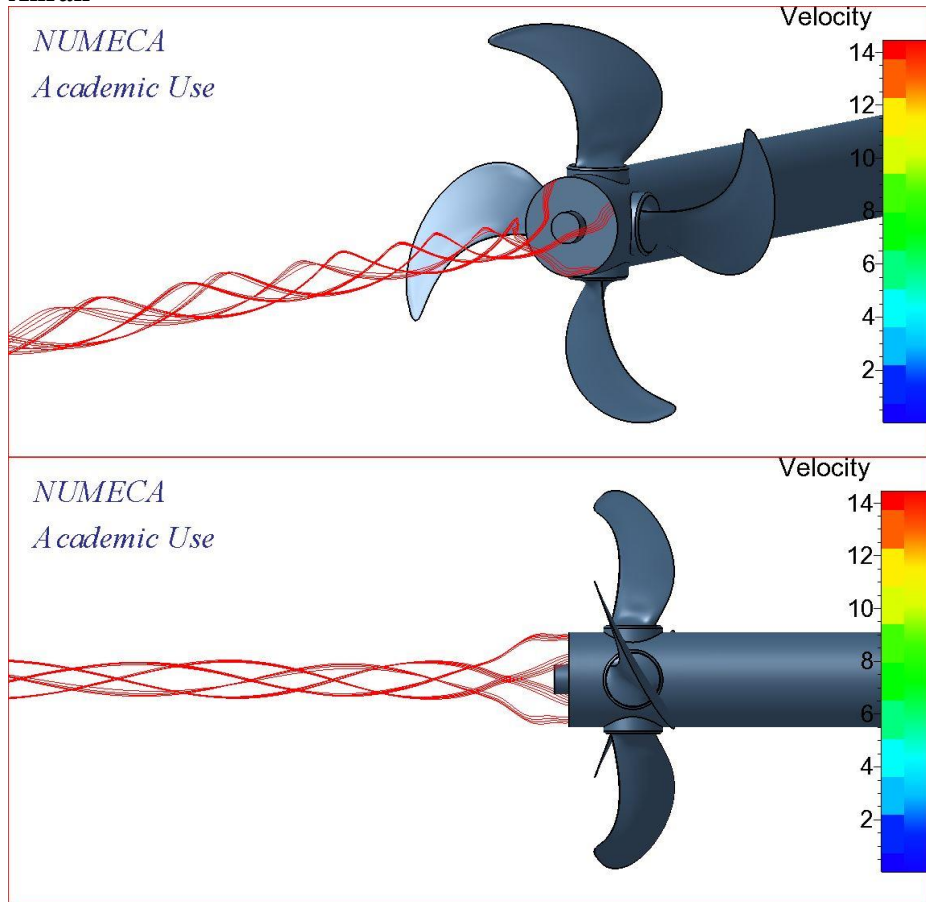


c. J 1.0  
❖ Thrust



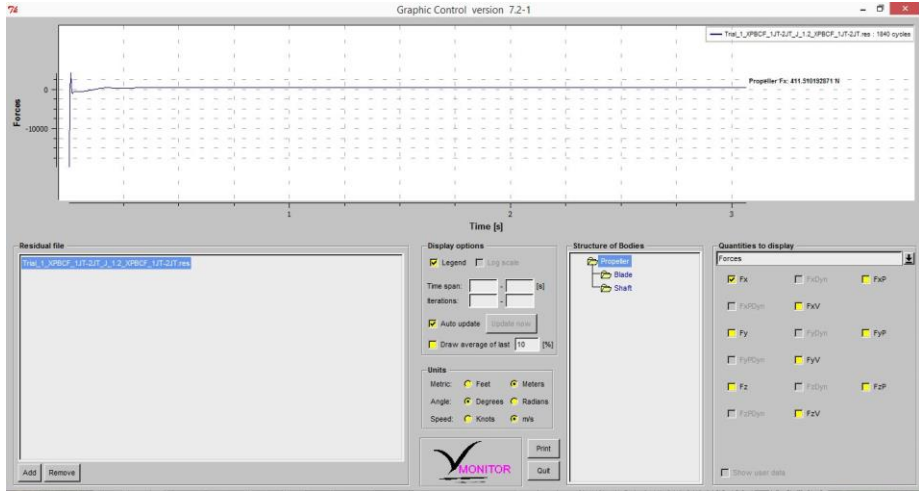
❖ Torque



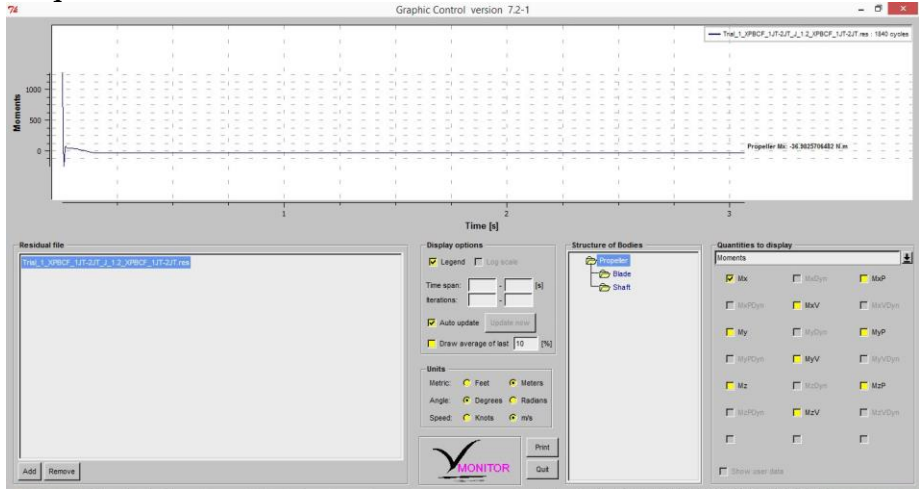
❖ **Aliran**

d. J 1.2

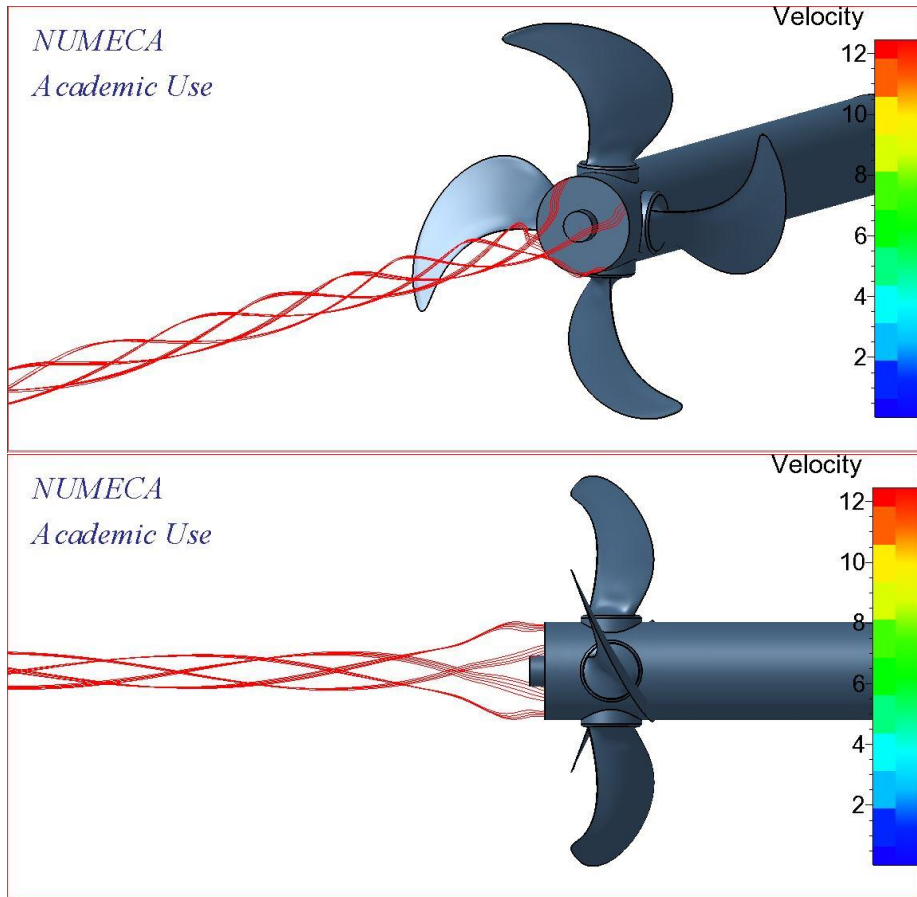
❖ Thrust



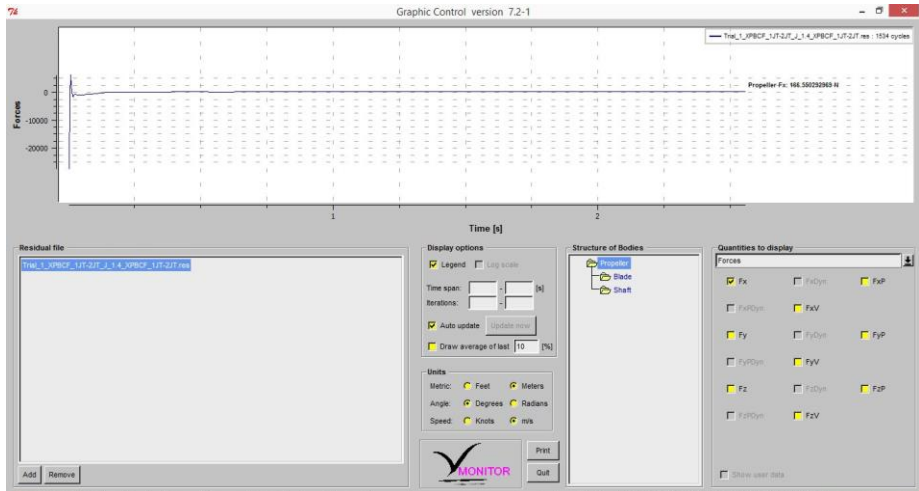
❖ Torque



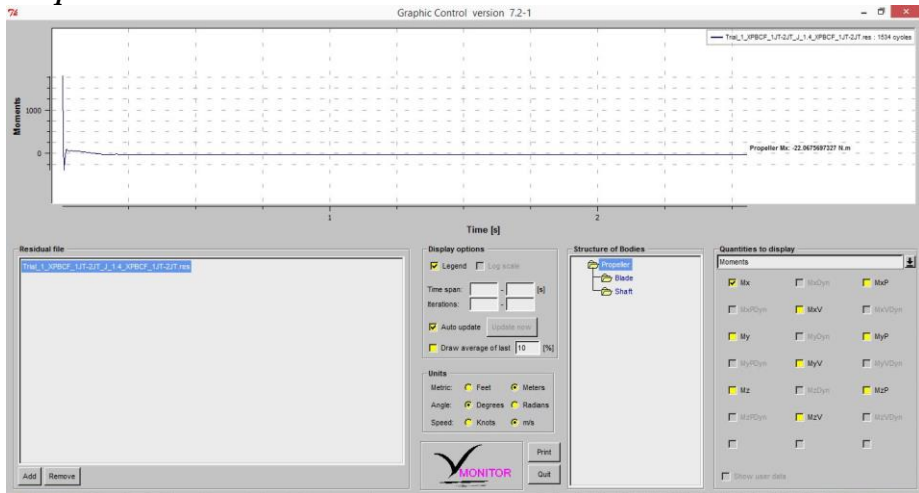
❖ Aliran



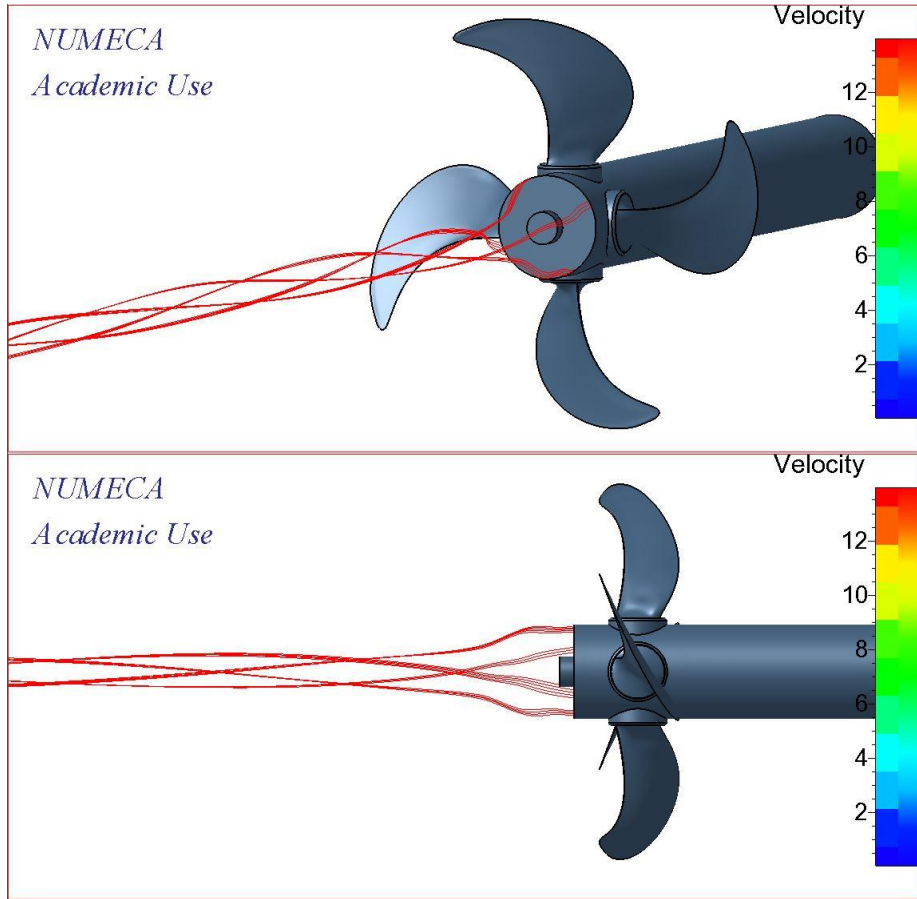
e. J 1.4  
❖ Thrust



❖ Torque



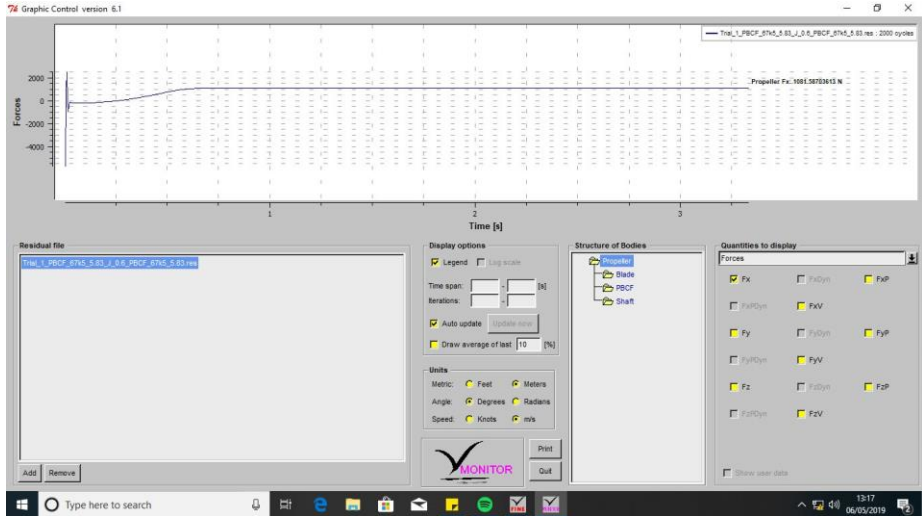
❖ Aliran



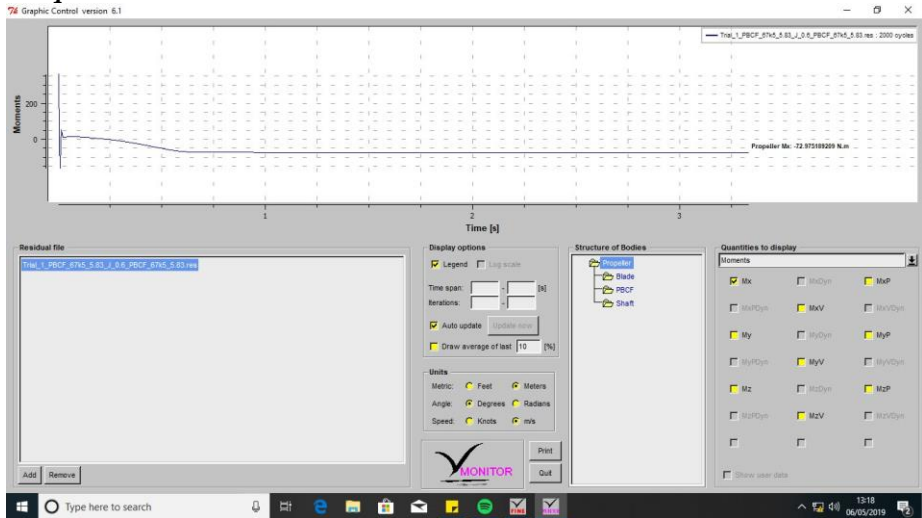
## 2. Propeller C4-40 dengan Span to chord ratio PBCF 0.17

### a. J 0.6

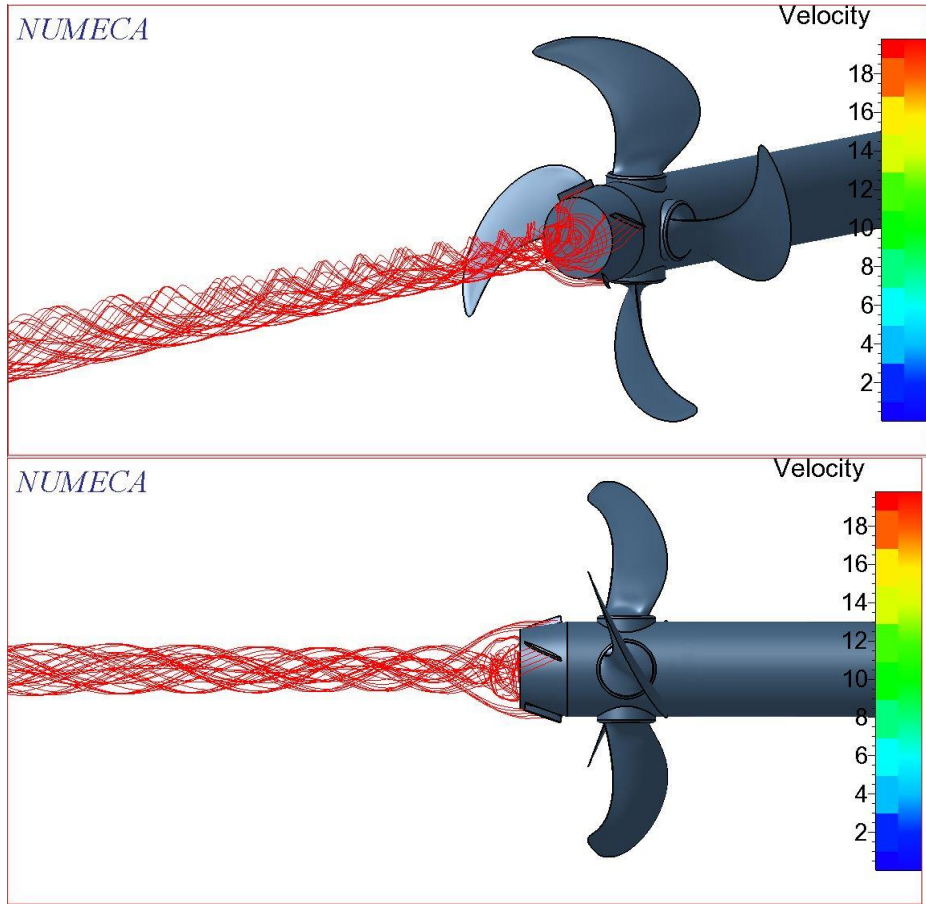
#### ➤ Thrust



#### ➤ Torque



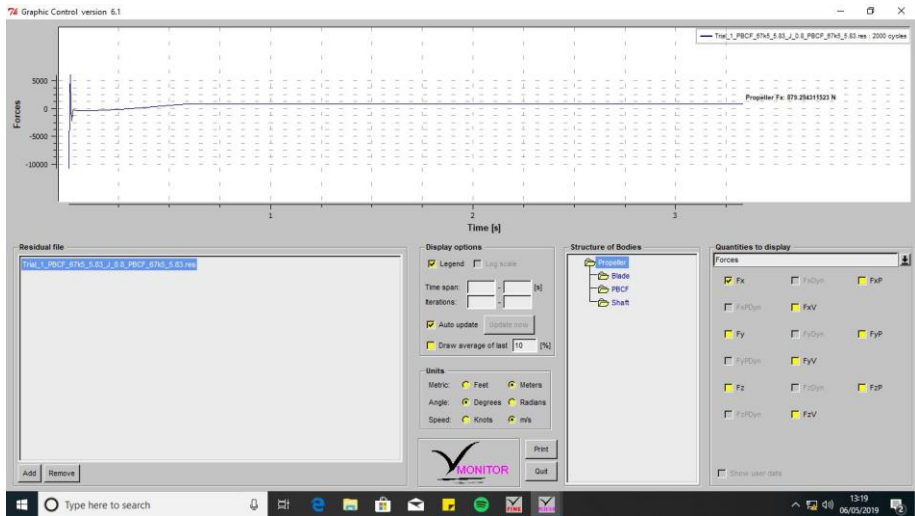
➤ **Aliran**



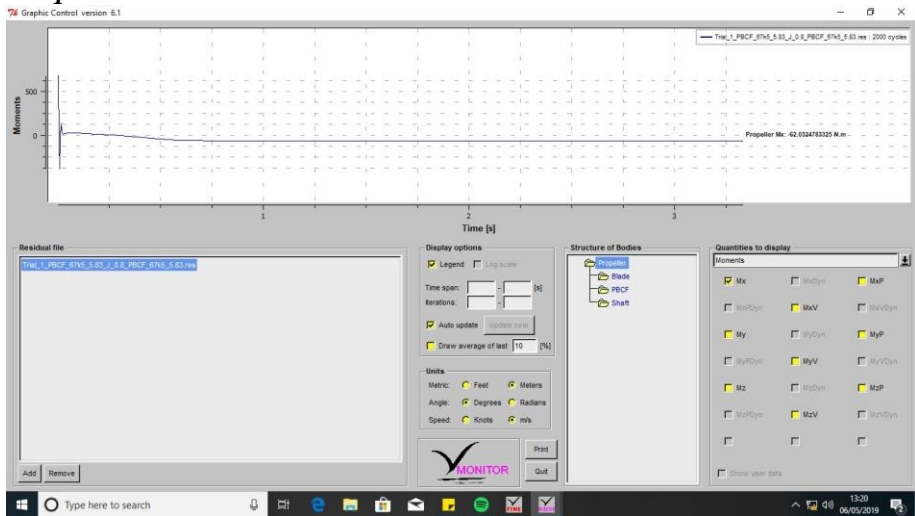


b. J 0.8

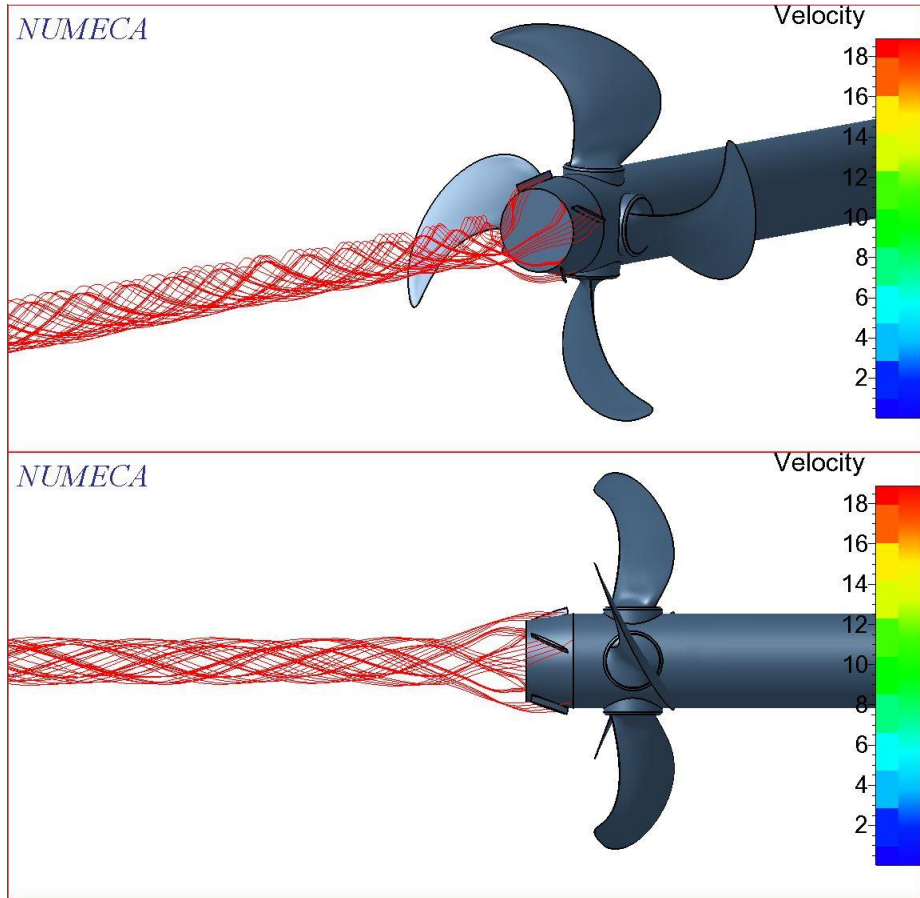
➤ *Thrust*



➤ *Torque*

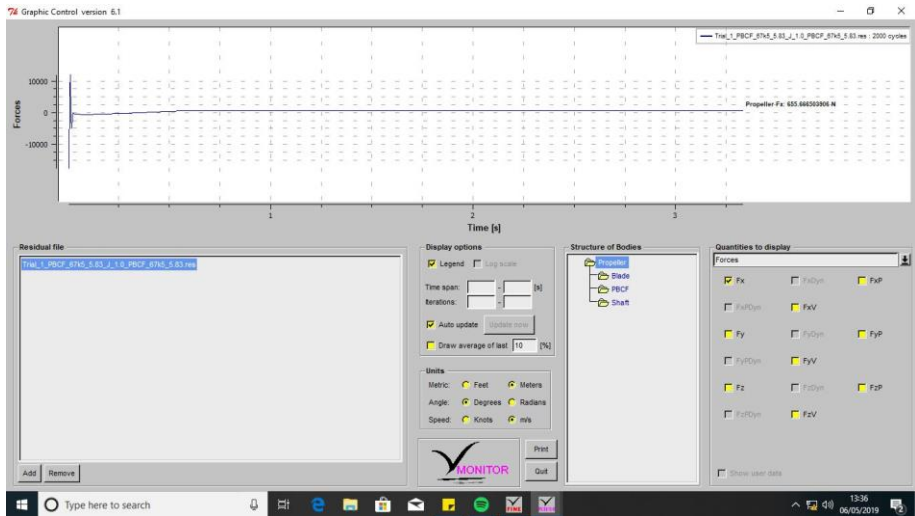


➤ **Aliran**

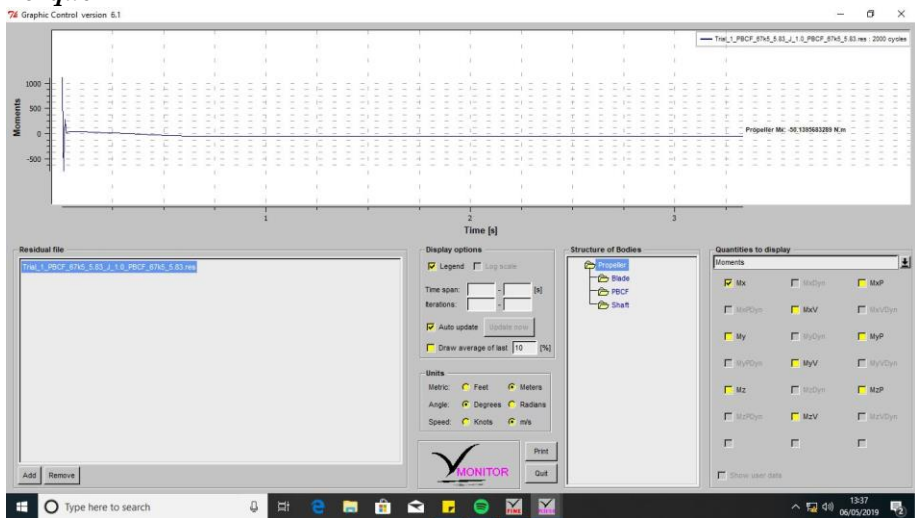


c. J 1.0

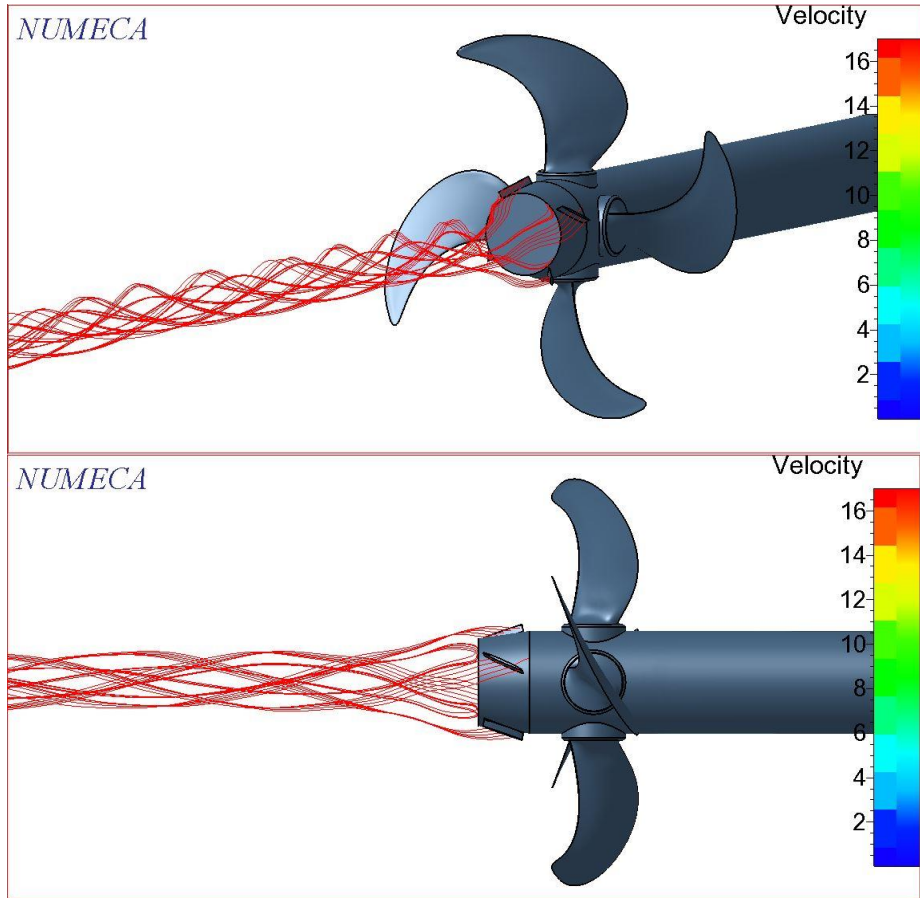
➤ *Thrust*



➤ *Torque*

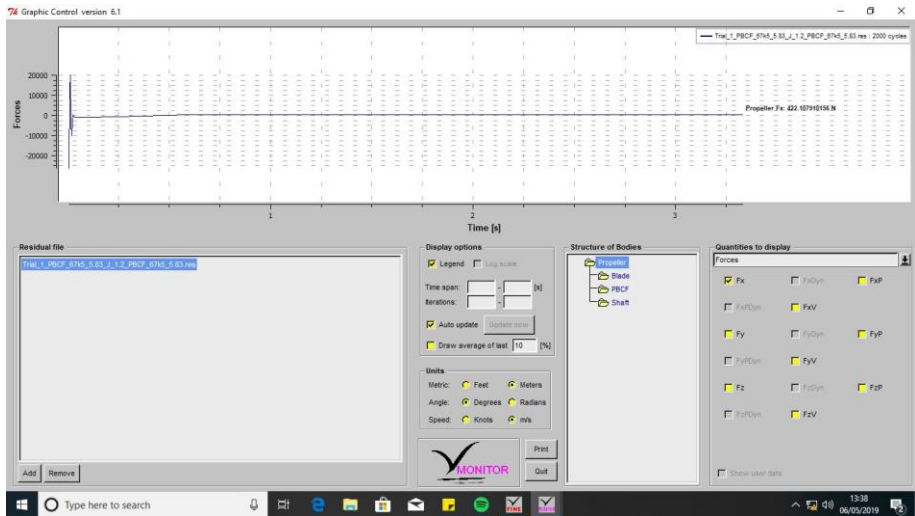


➤ **Aliran**

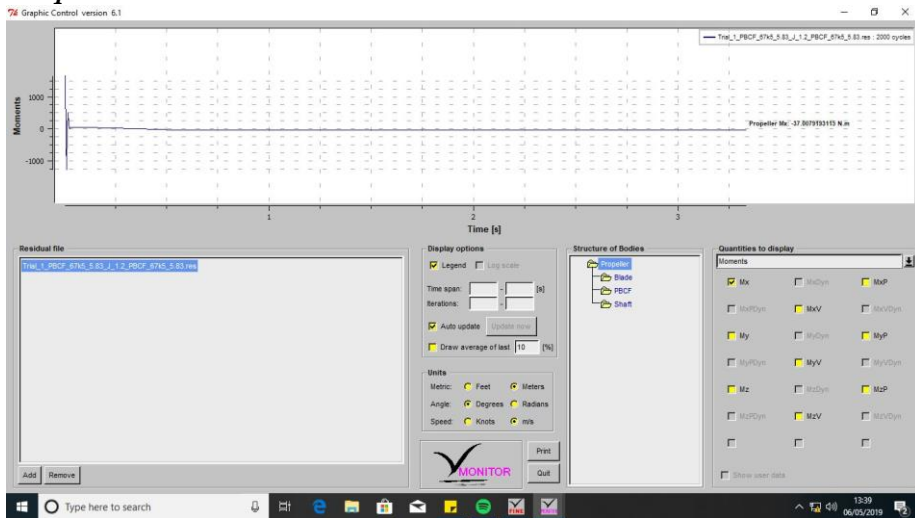


d. J 1.2

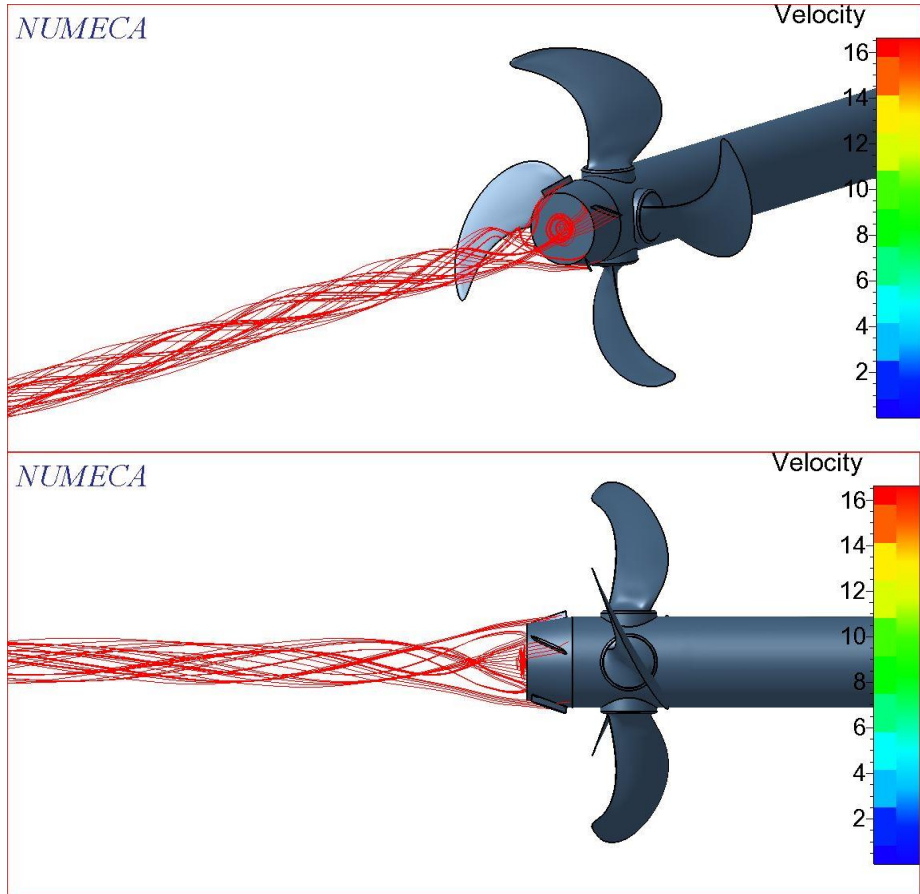
➤ **Thrust**



➤ **Torque**

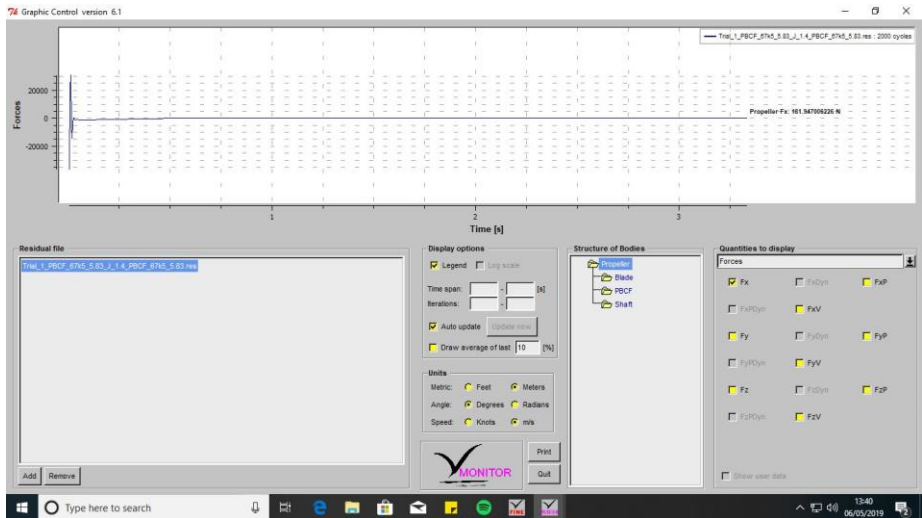


➤ **Aliran**

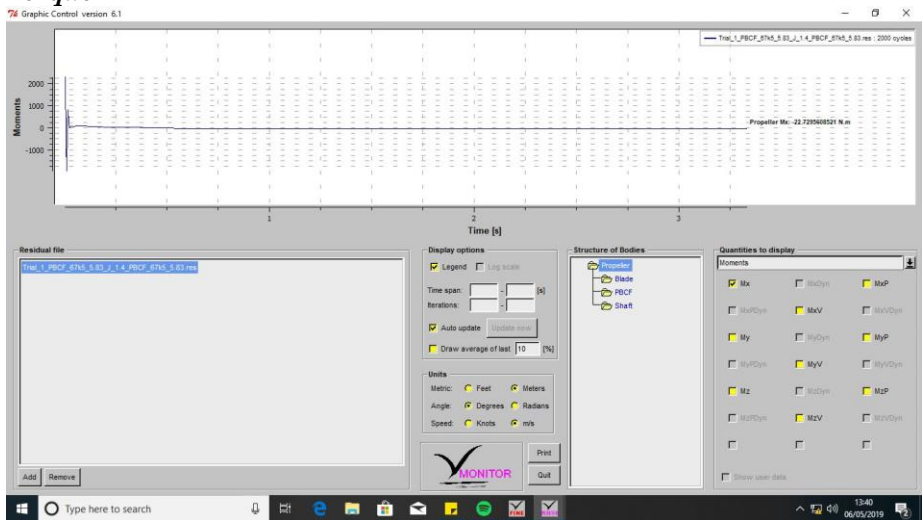


e. J 1.4

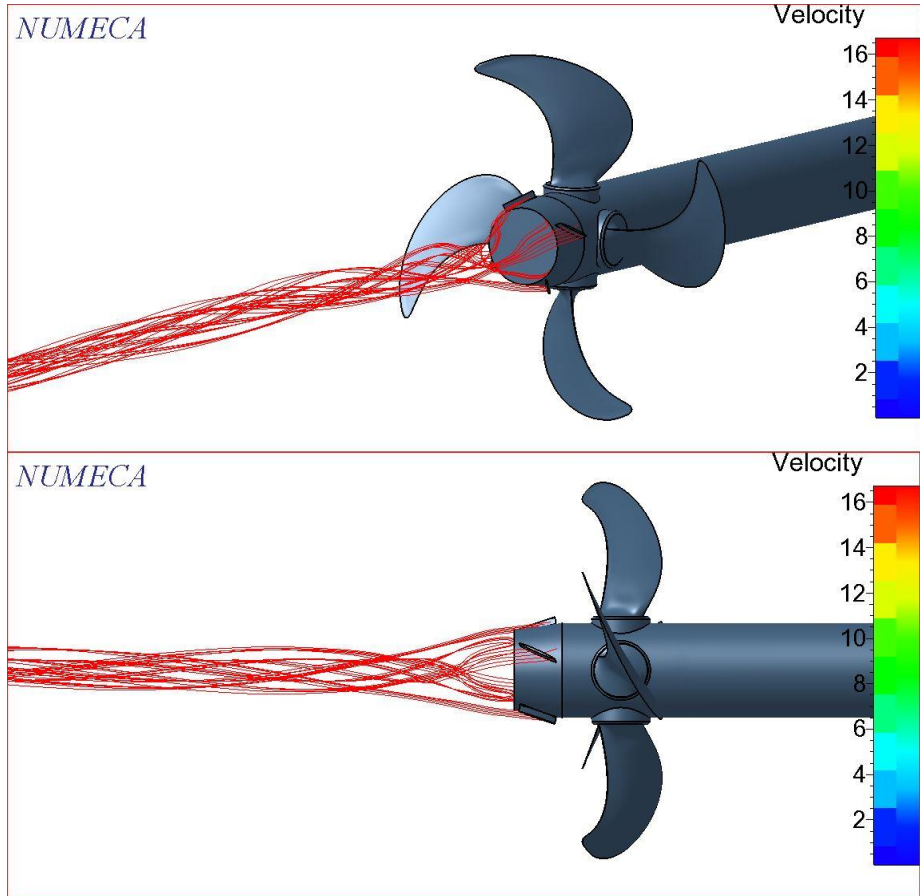
➤ *Thrust*



➤ *Torque*



➤ **Aliran**

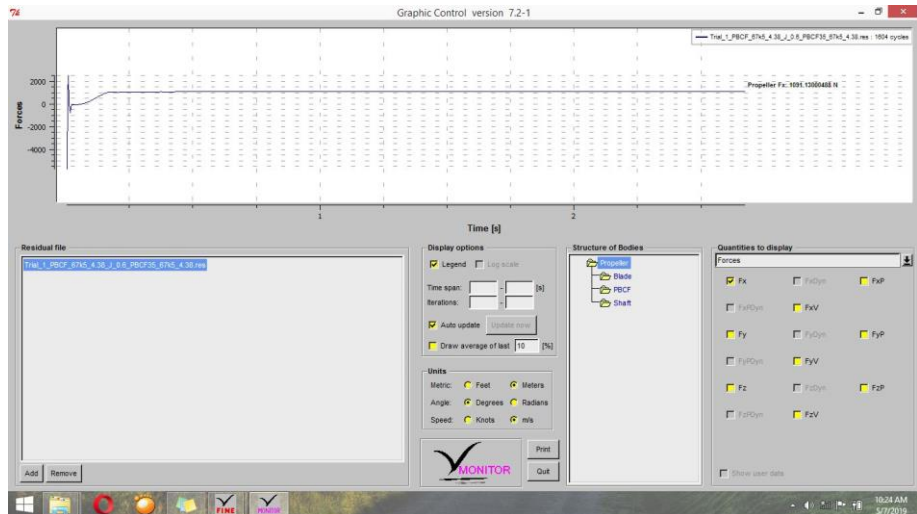




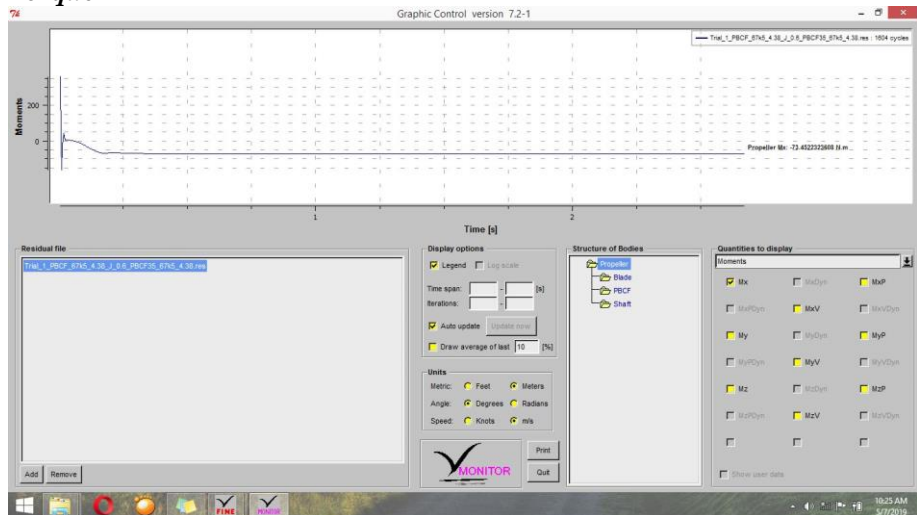
### 3. Propeller C4-40 dengan Span to chord ratio PBCF 0.23

#### a. J 0.6

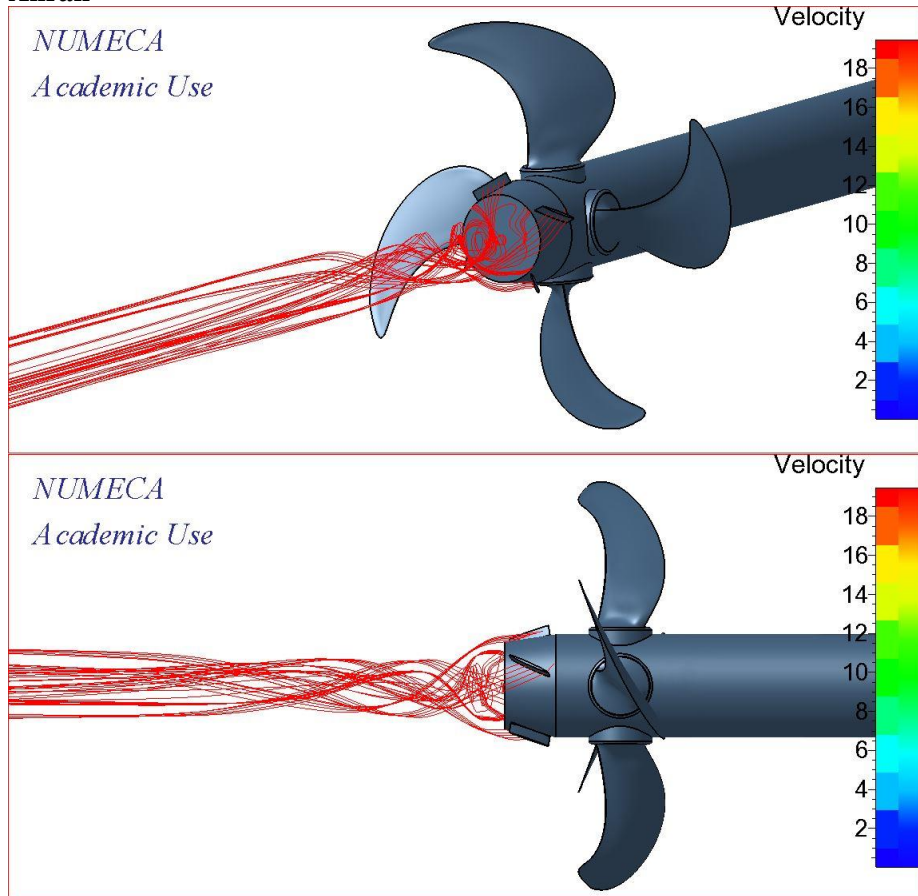
✓ Thrust



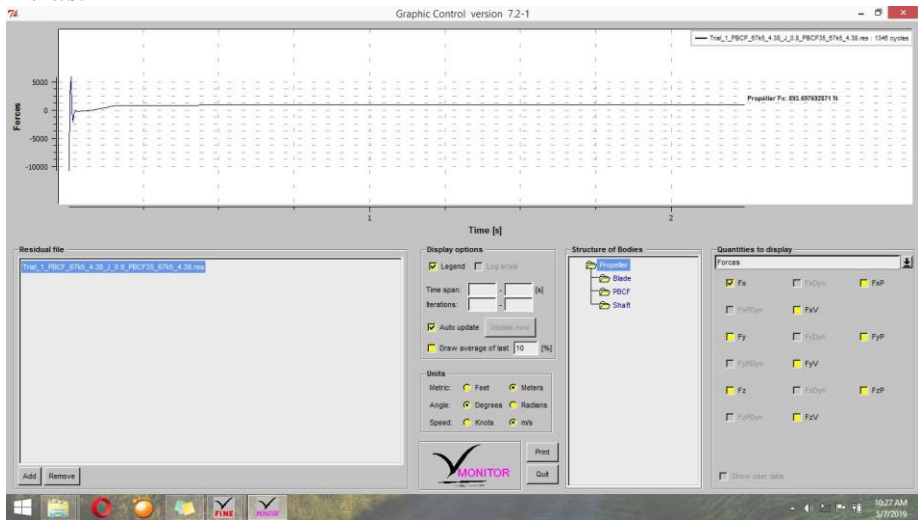
✓ Torque



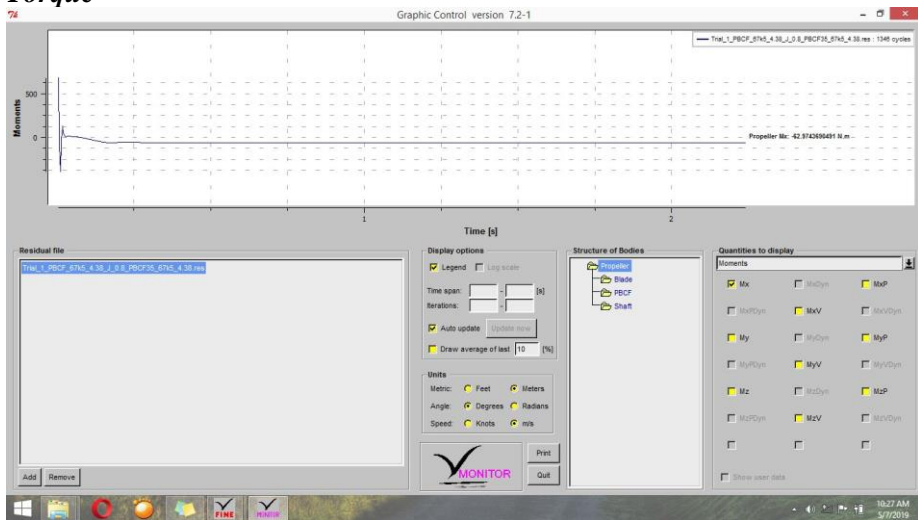
✓ **Aliran**



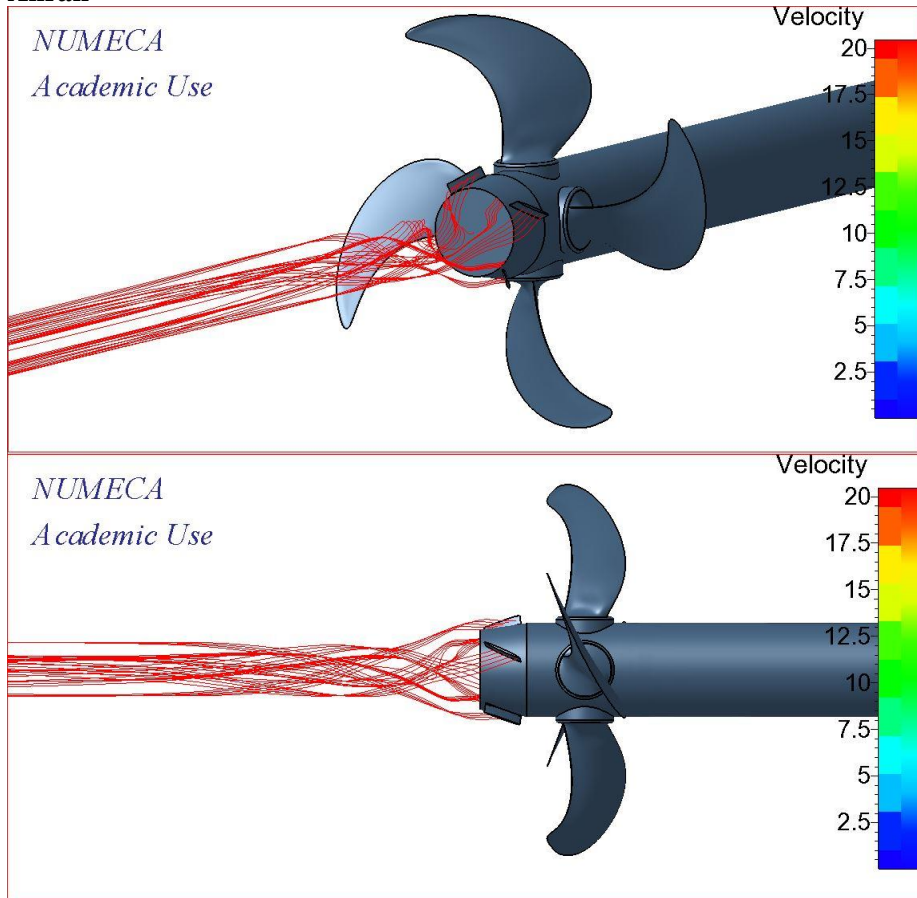
b. J 0.8  
 ✓ Thrust



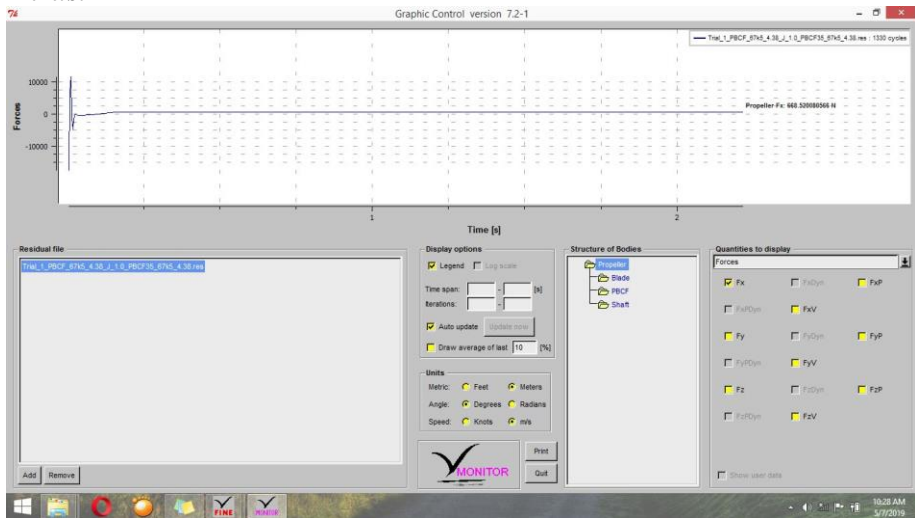
✓ Torque



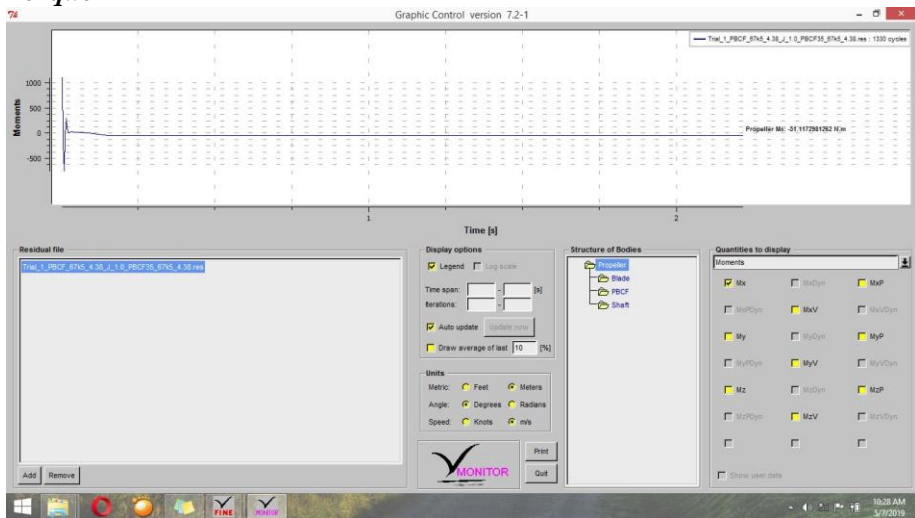
✓ **Aliran**



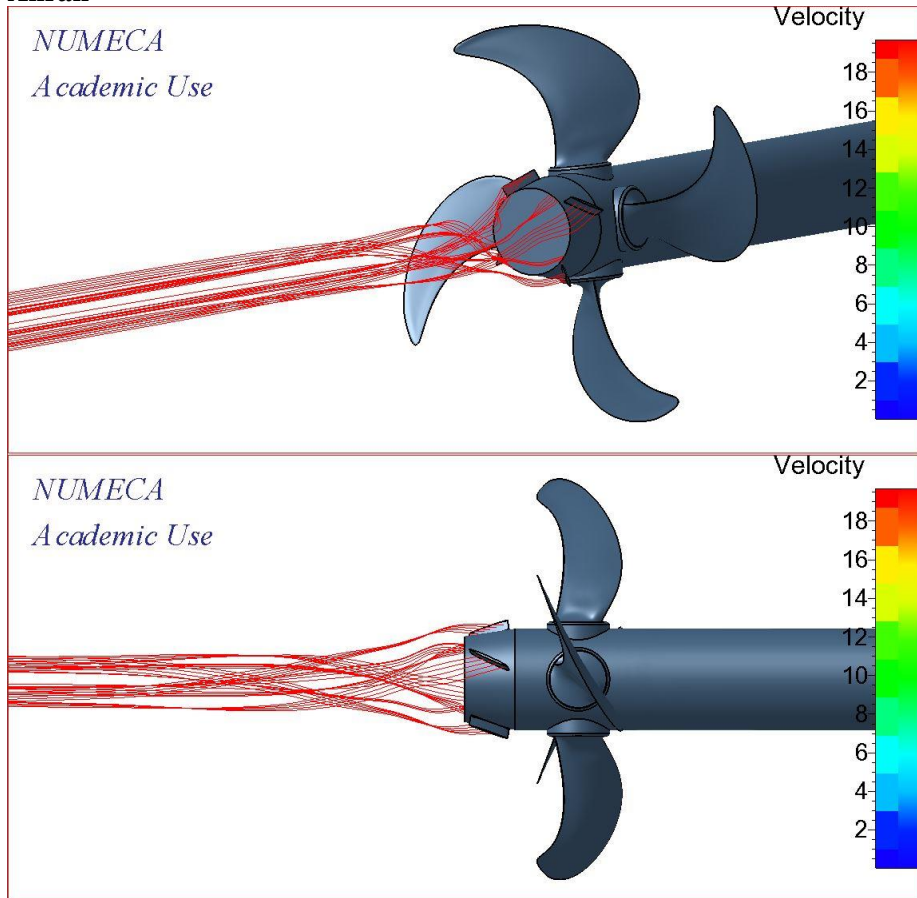
c. J 1.0  
 ✓ Thrust



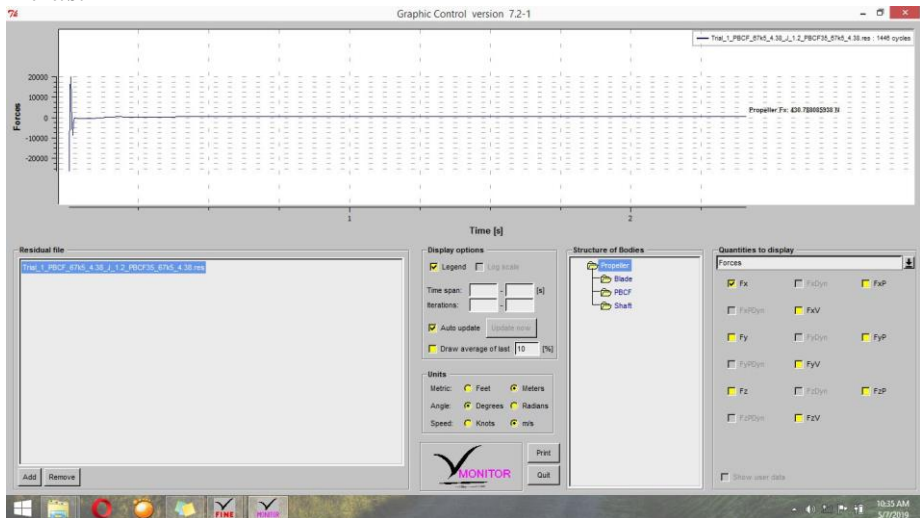
✓ Torque



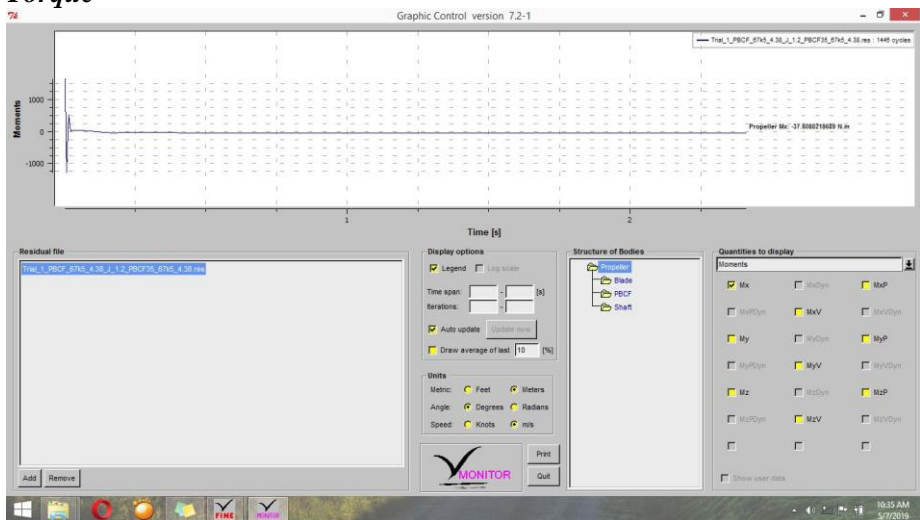
✓ **Aliran**



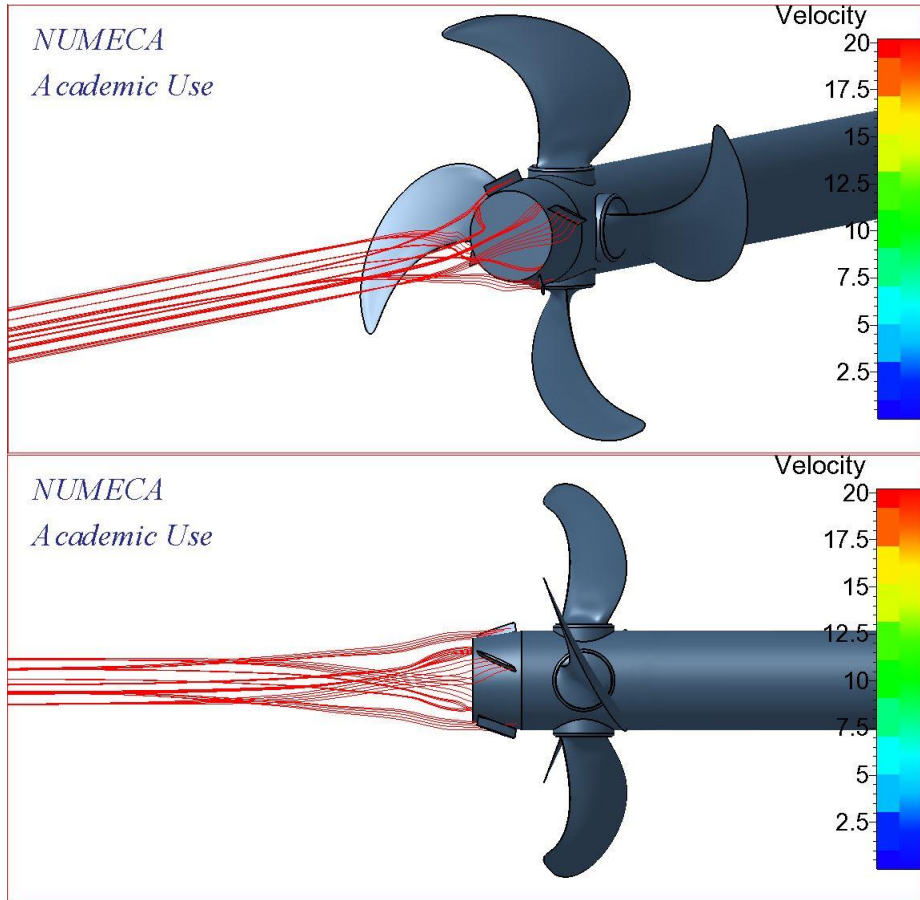
d. J 1.2  
 ✓ Thrust



✓ Torque

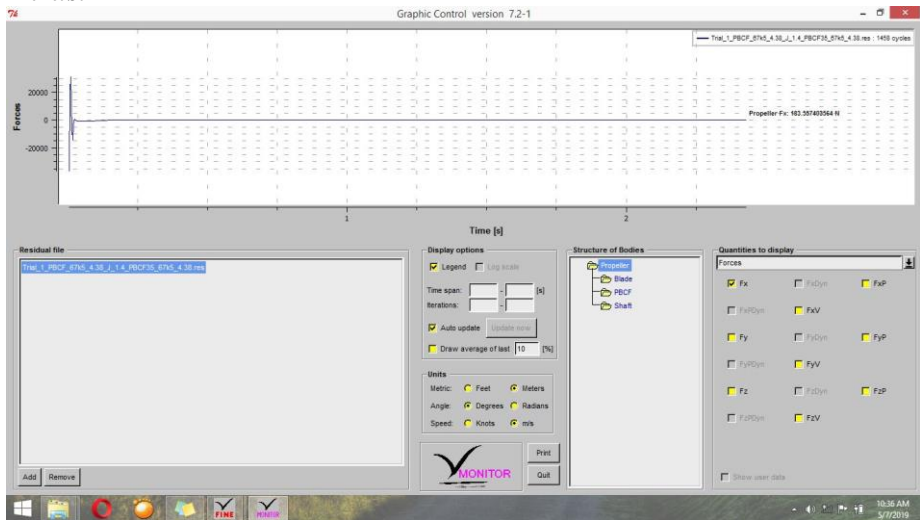


✓ **Aliran**

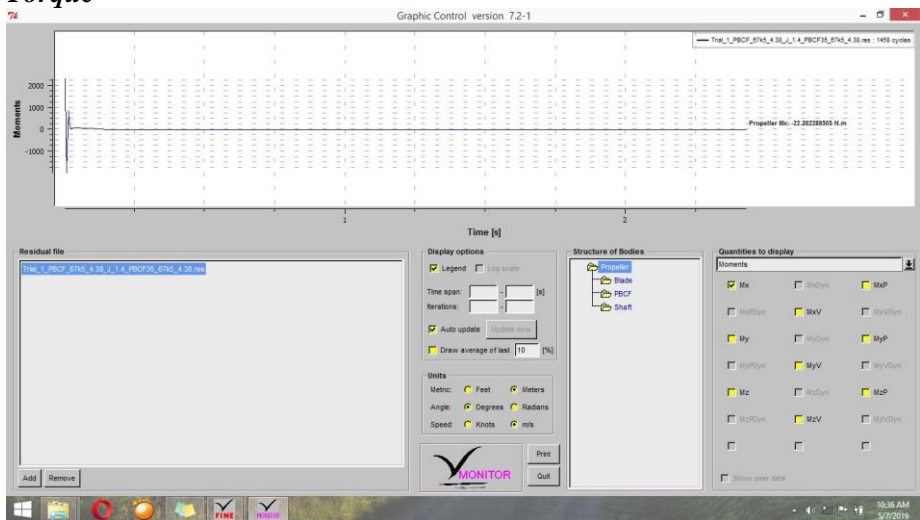




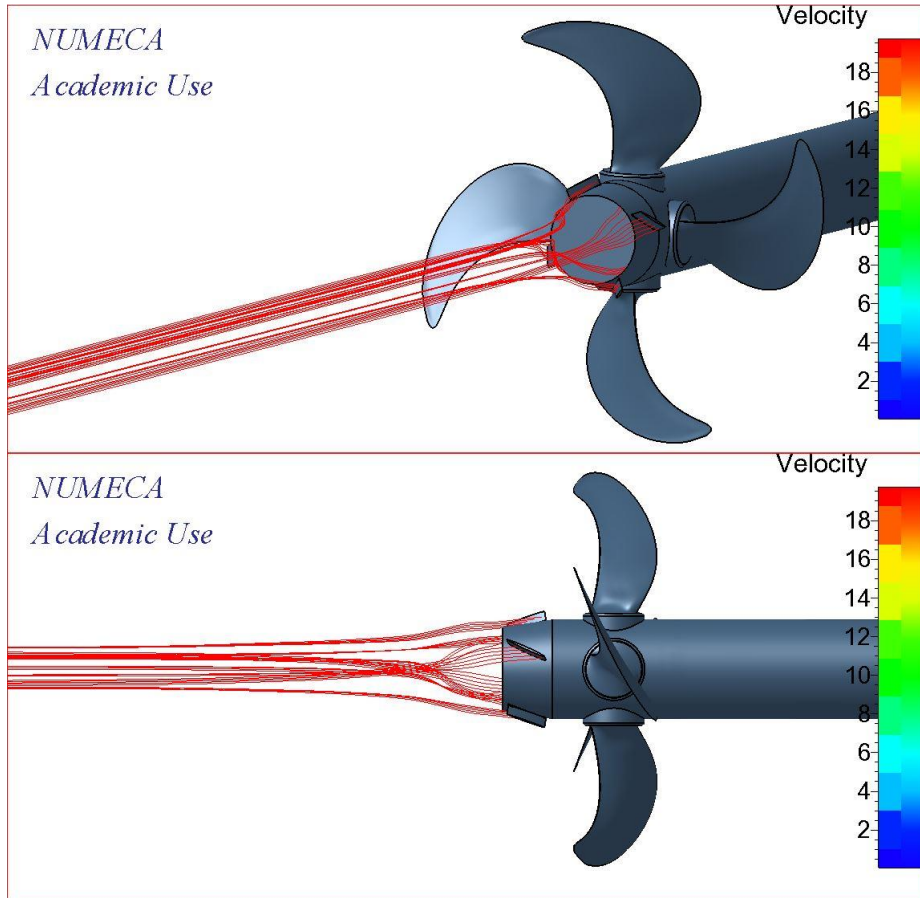
e. J 1.4  
 ✓ Thrust



✓ Torque



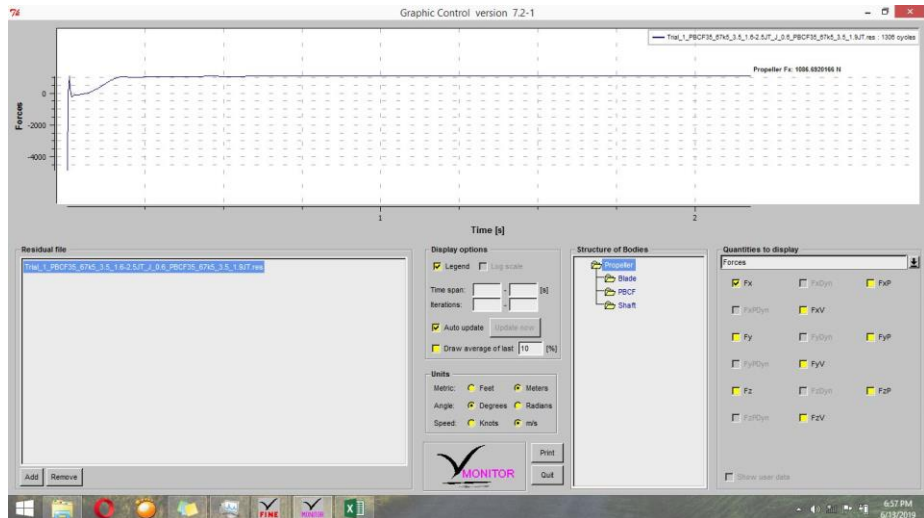
✓ **Aliran**



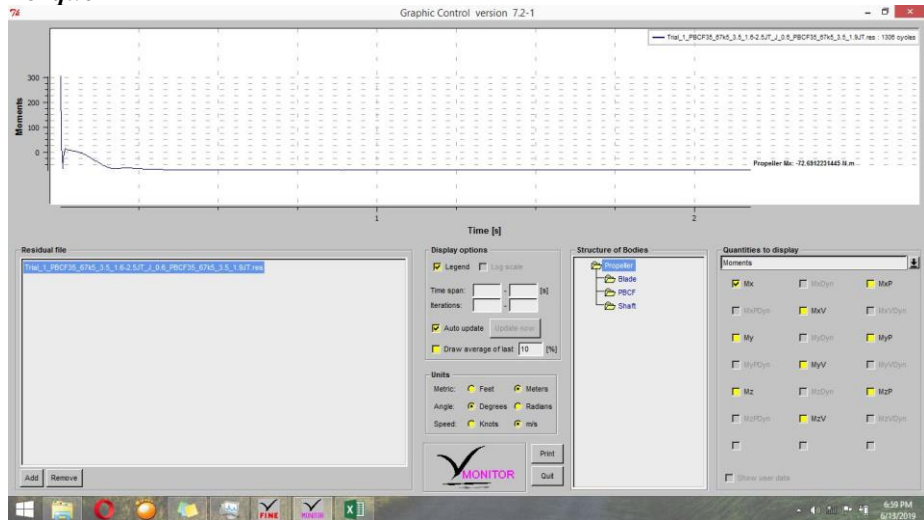
#### 4. Propeller C4-40 dengan Span to chord ratio PBCF 0.29

##### a. J 0.6

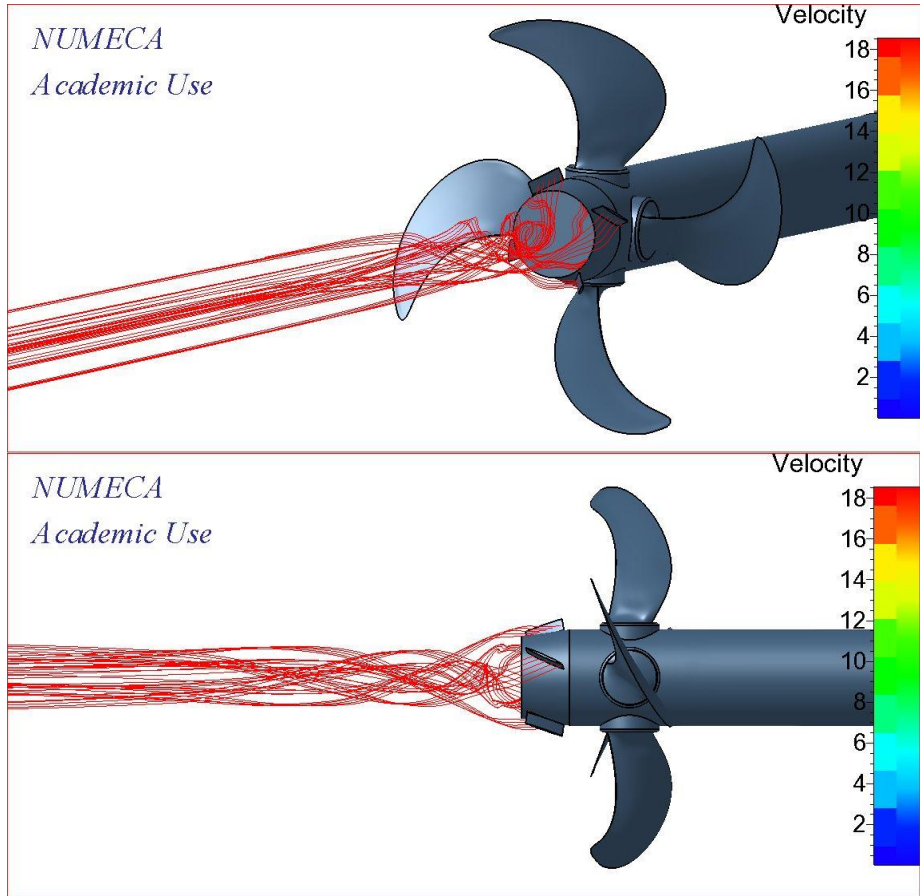
##### ✓ Thrust



##### ✓ Torque

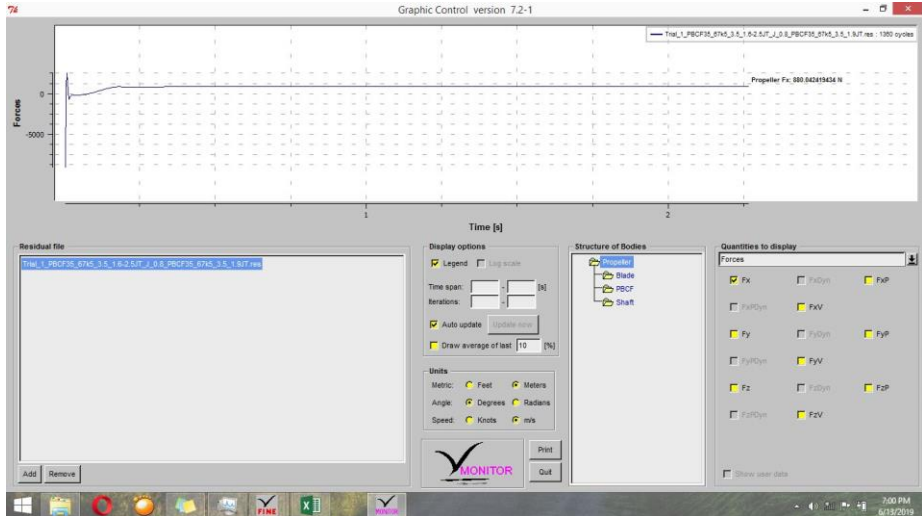


✓ **Aliran**

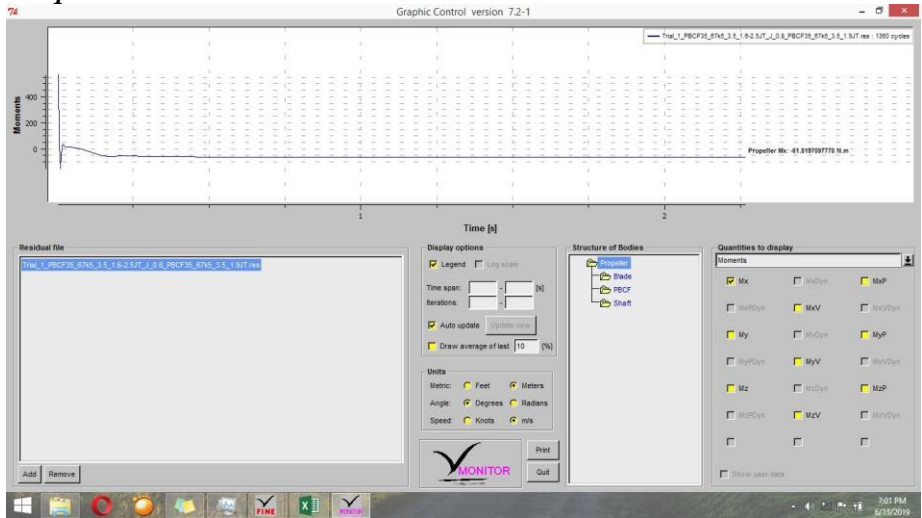


b. J 0.8

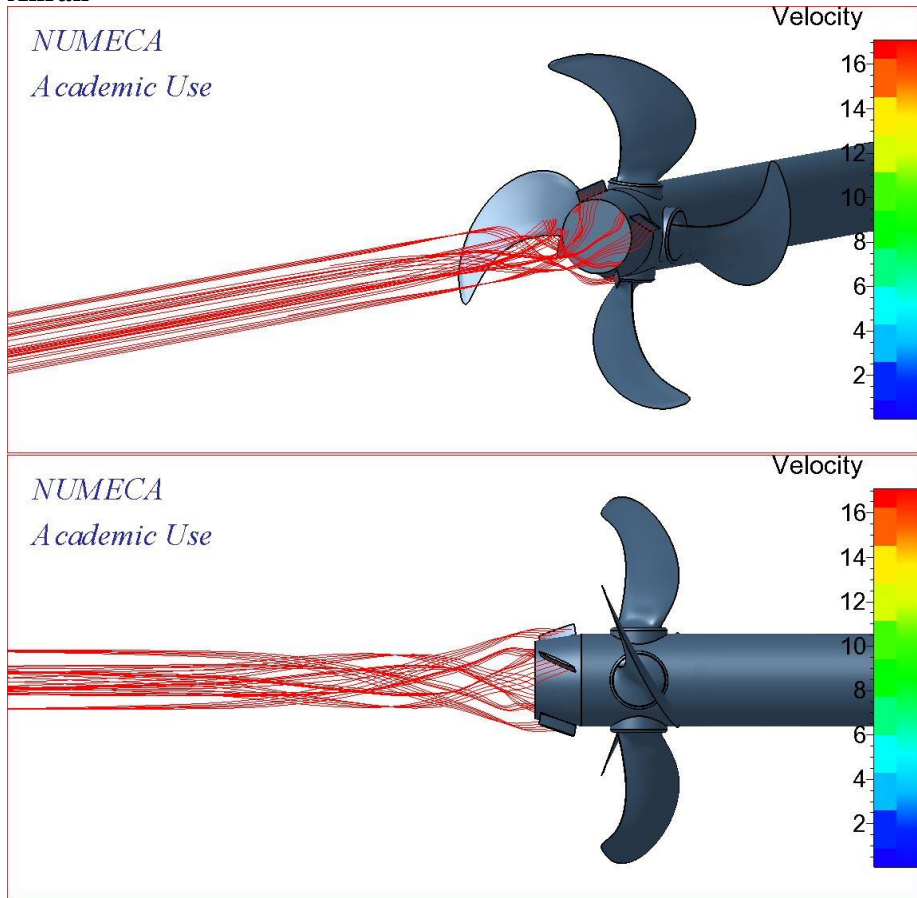
✓ Thrust



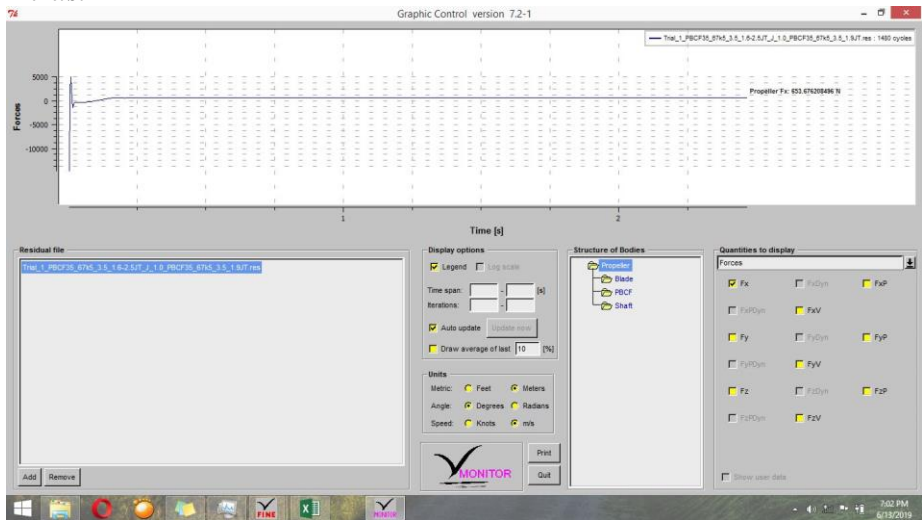
✓ Torque



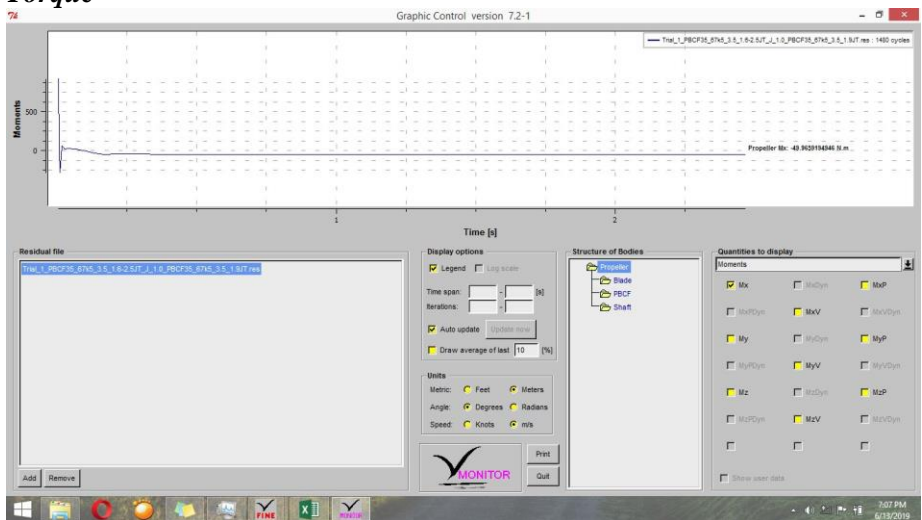
✓ **Aliran**



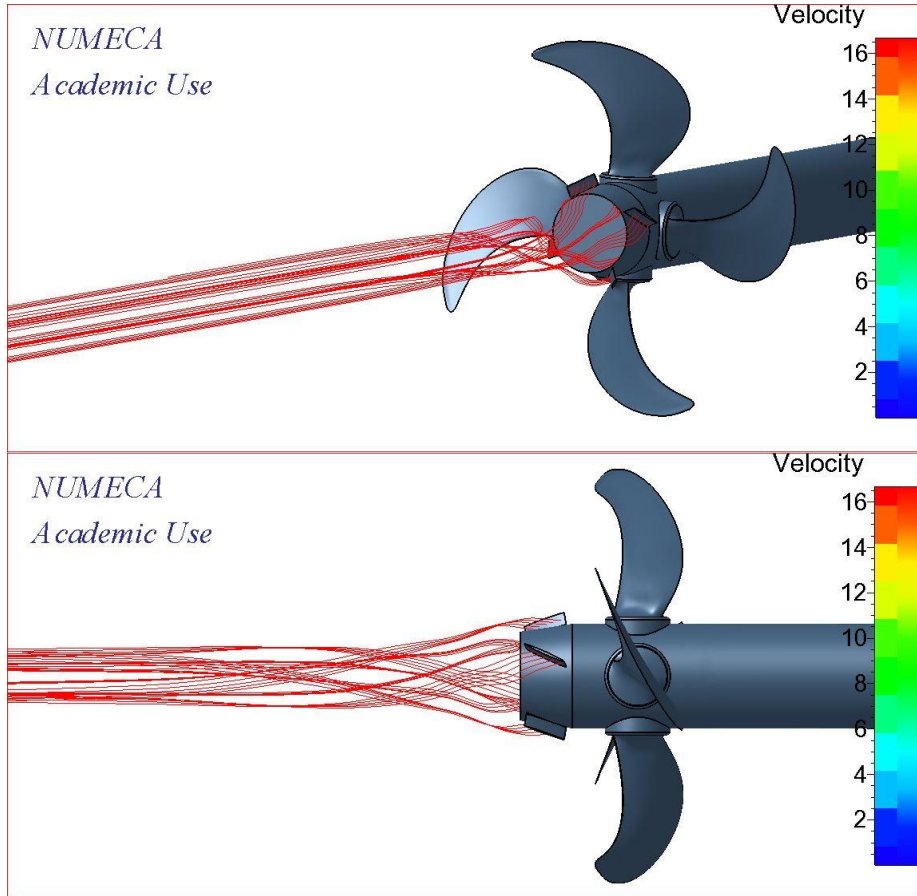
c. J 1.0  
 ✓ Thrust



✓ Torque

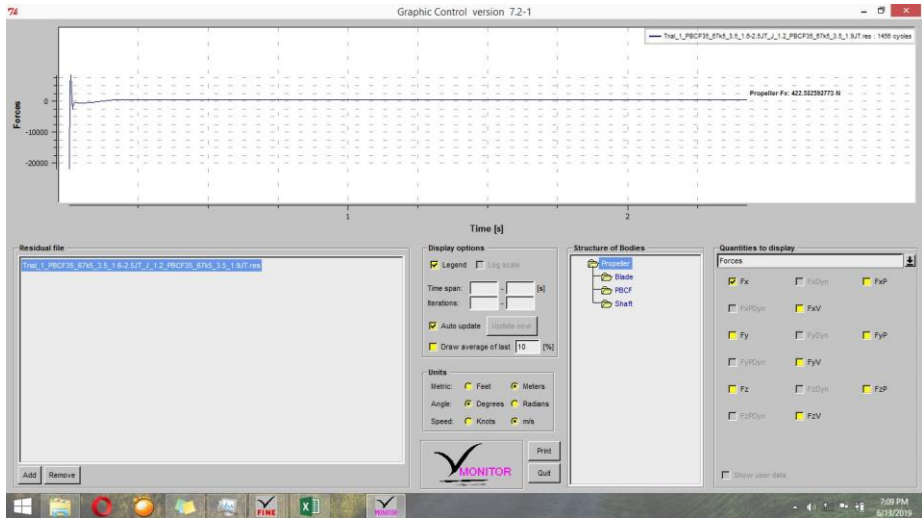


✓ **Aliran**

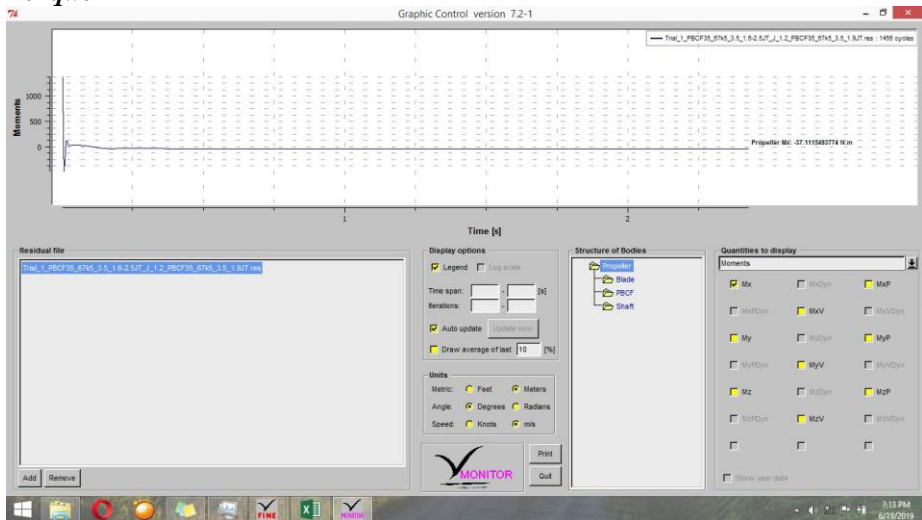




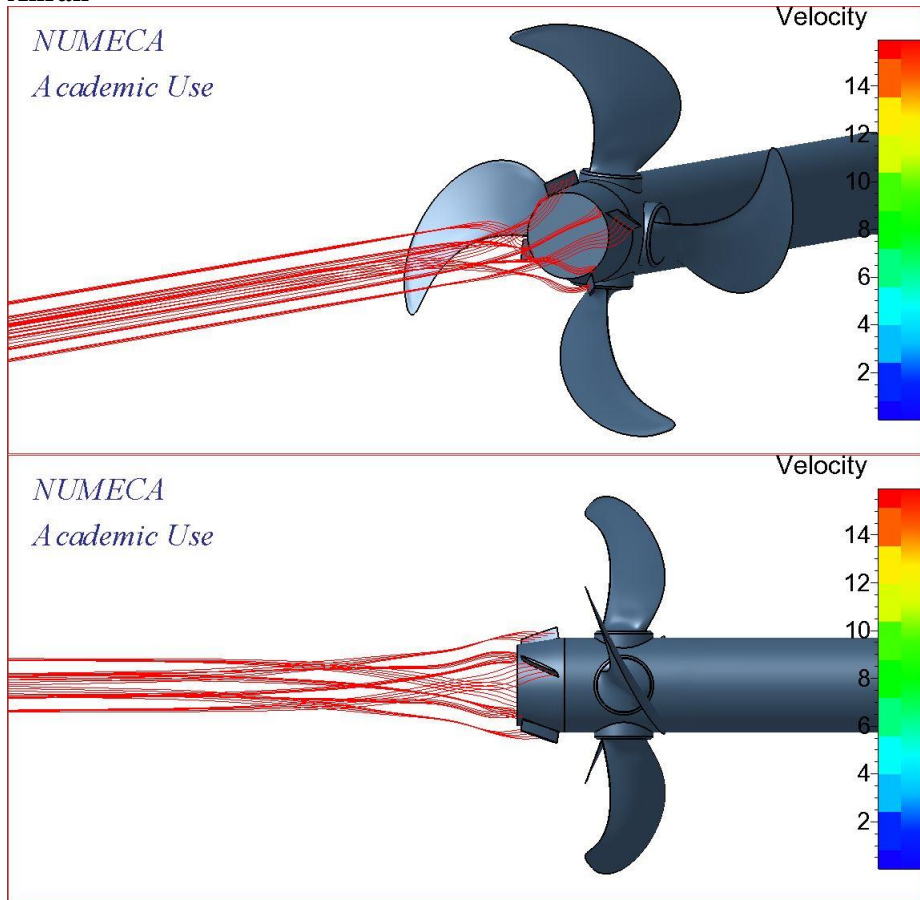
d. J 1.2  
 ✓ Thrust



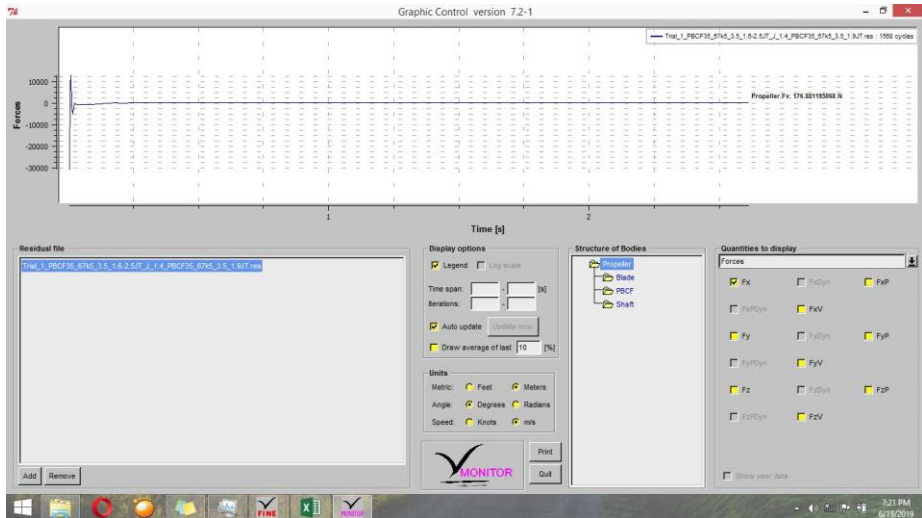
✓ Torque



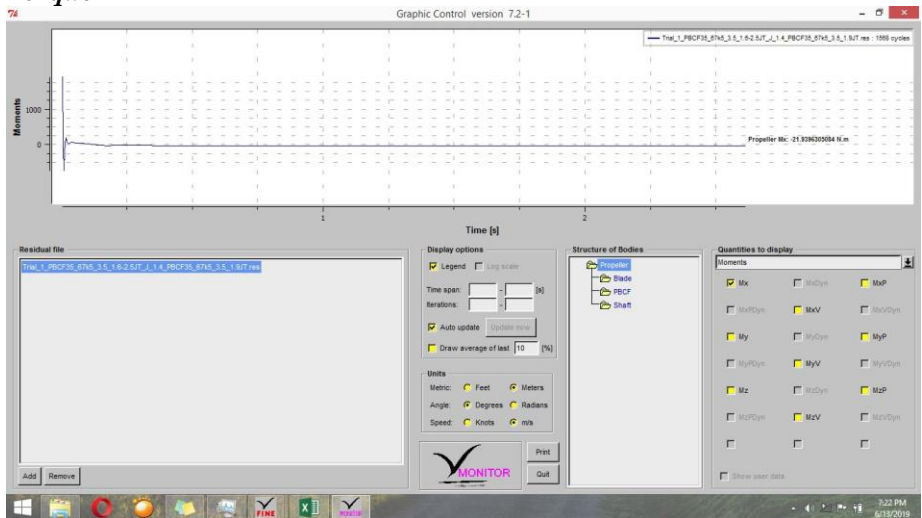
✓ **Aliran**



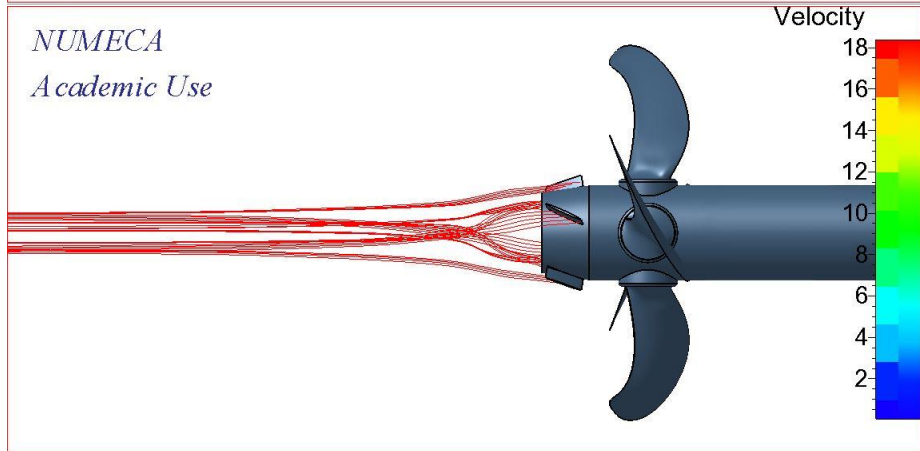
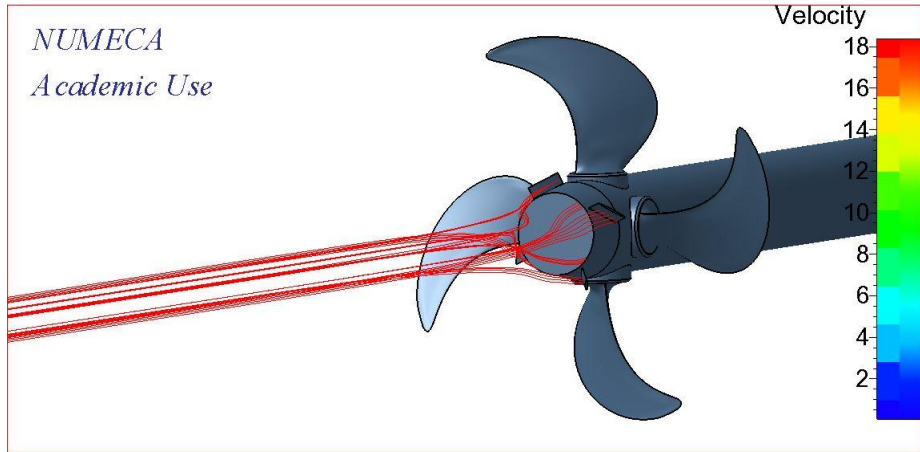
e. J 1.4  
 ✓ Thrust



✓ Torque



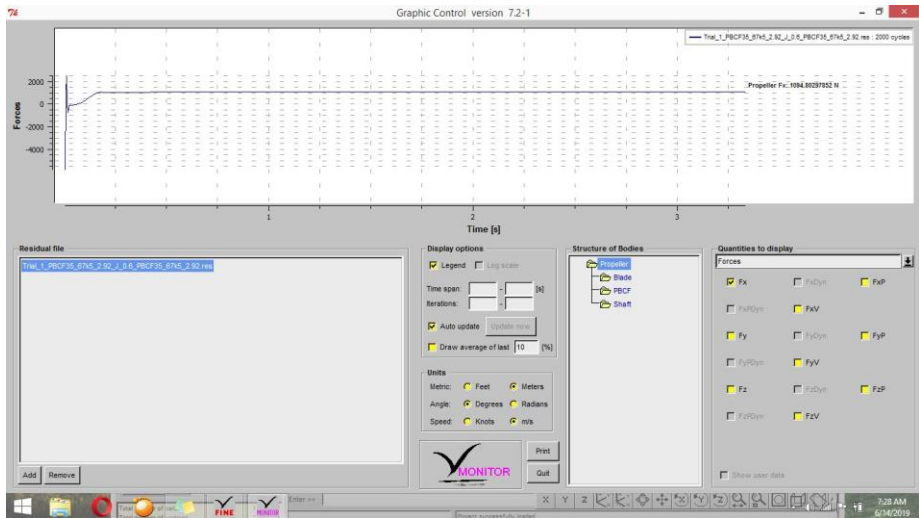
✓ **Aliran**



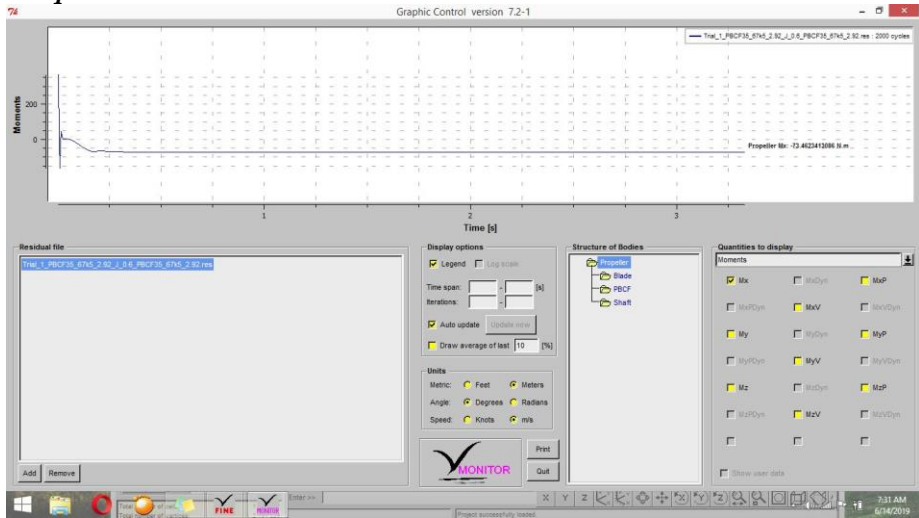
5. Propeller C4-40 dengan Span to chord ratio PBCF 0.34

a. J 0.6

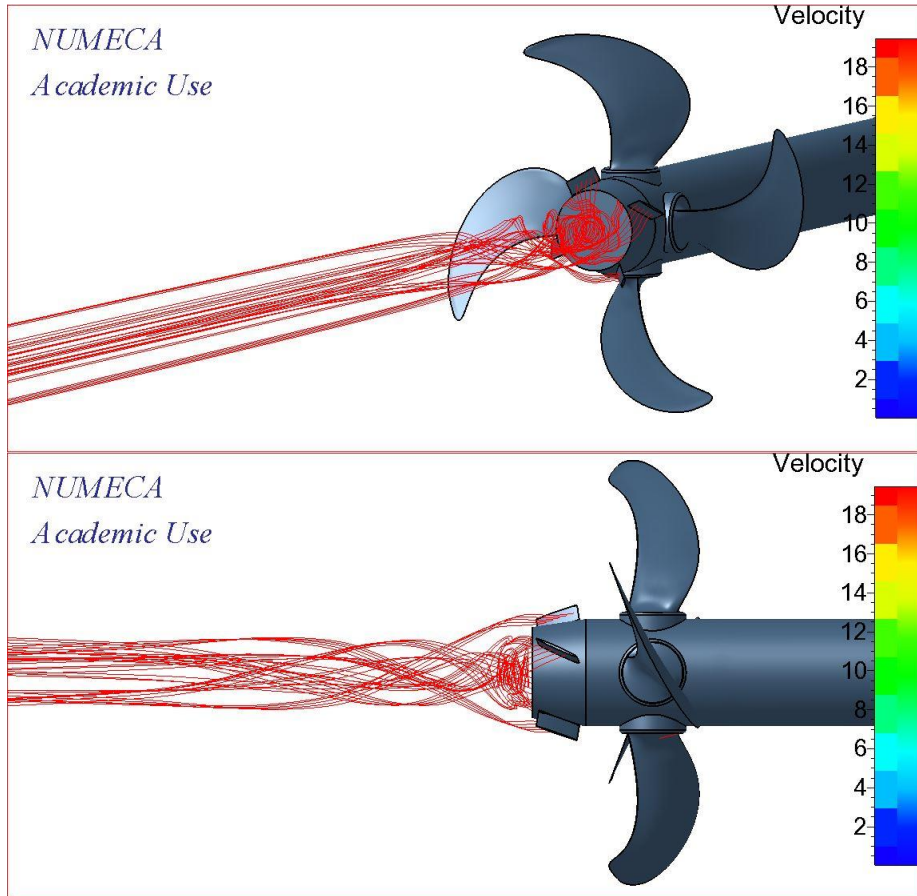
✓ Thrust



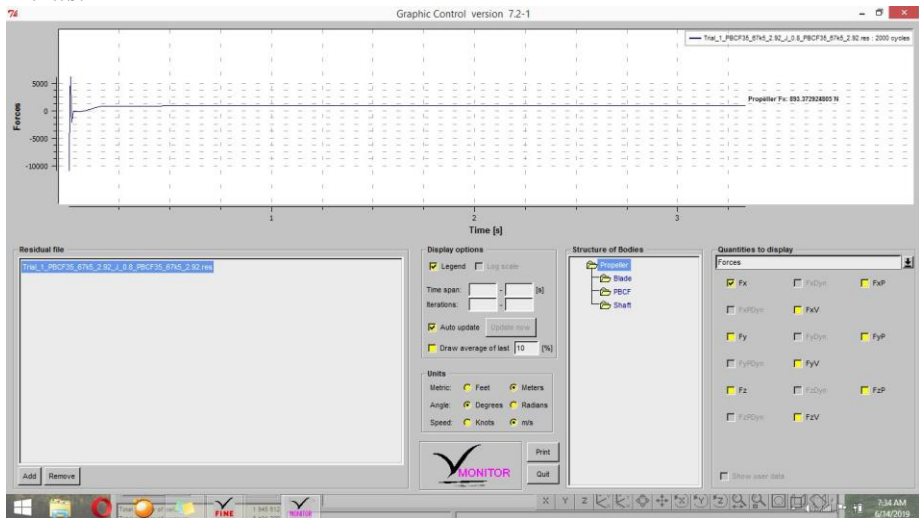
✓ Torque



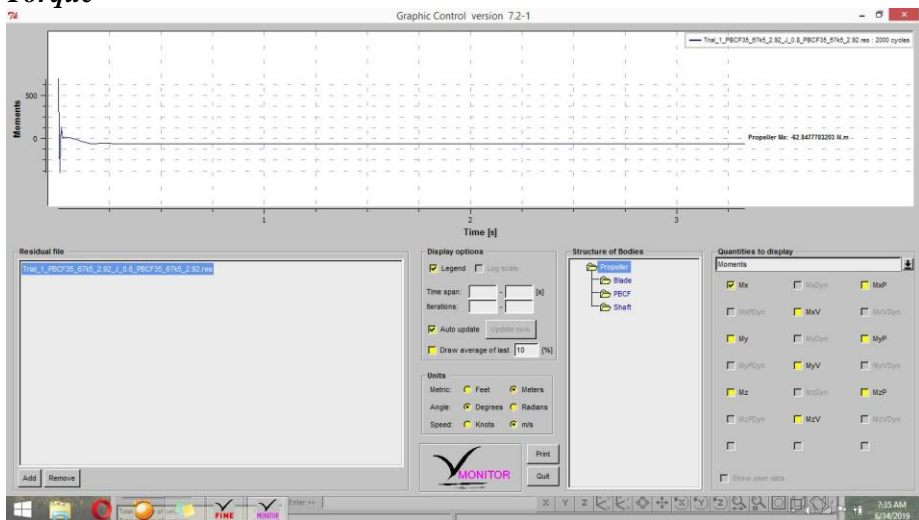
✓ **Aliran**



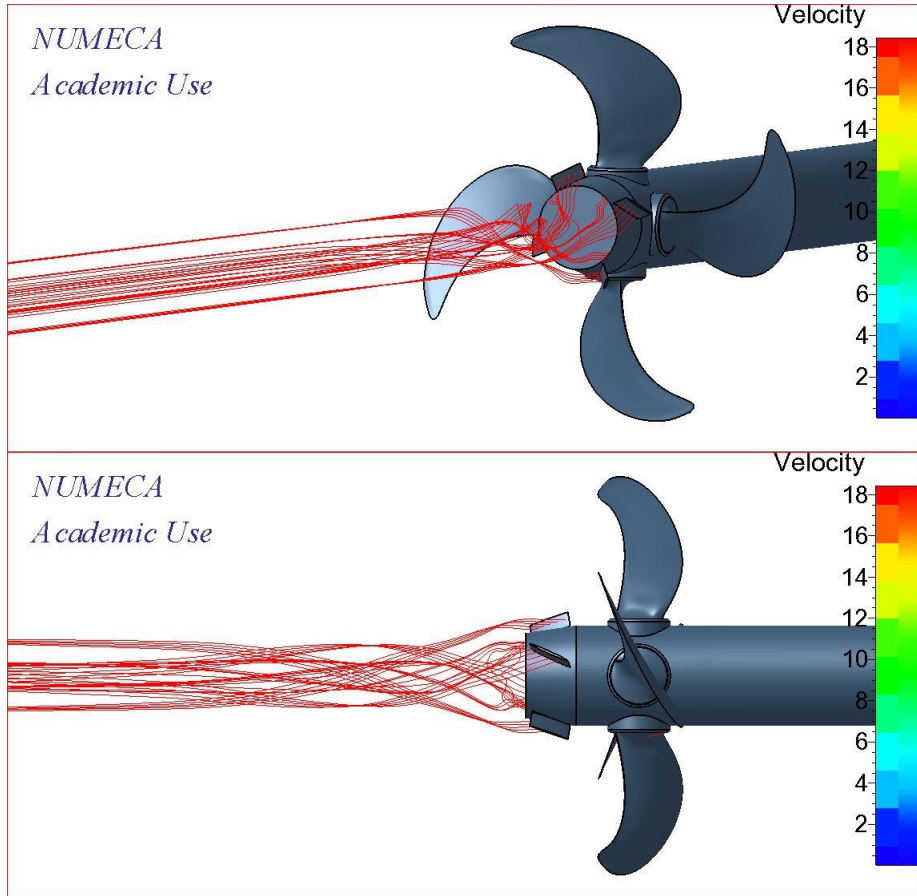
**b. J 0.8**  
 ✓ *Thrust*



✓ *Torque*

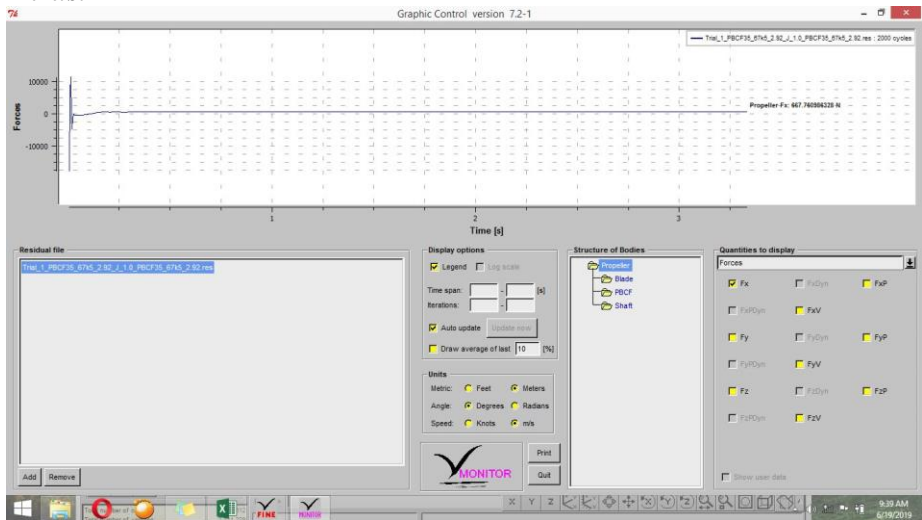


✓ **Aliran**

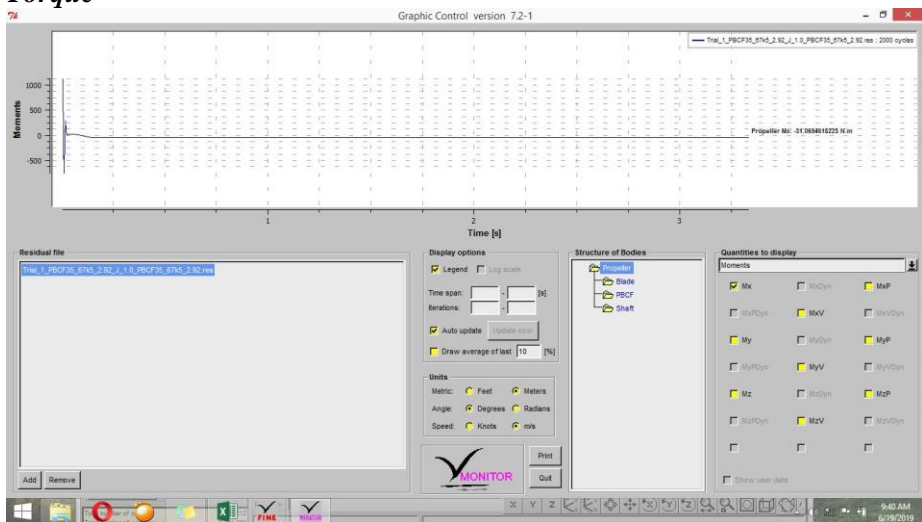




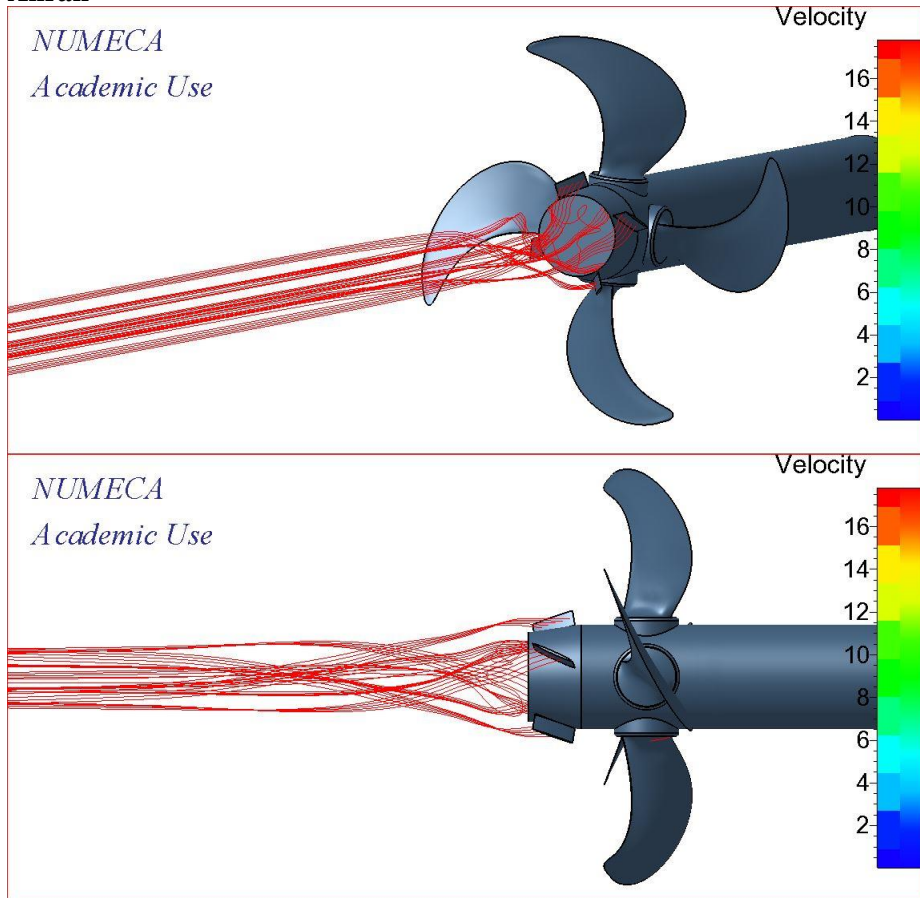
c. J 1.0  
 ✓ Thrust



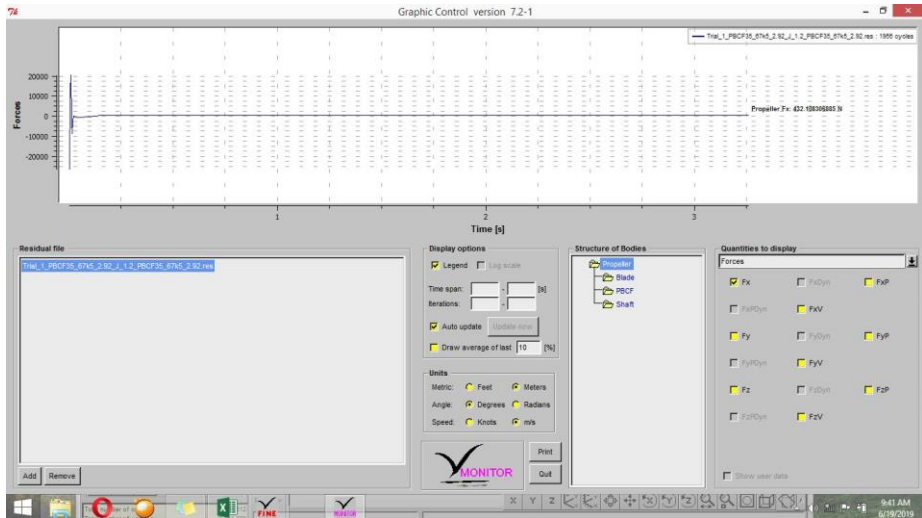
✓ Torque



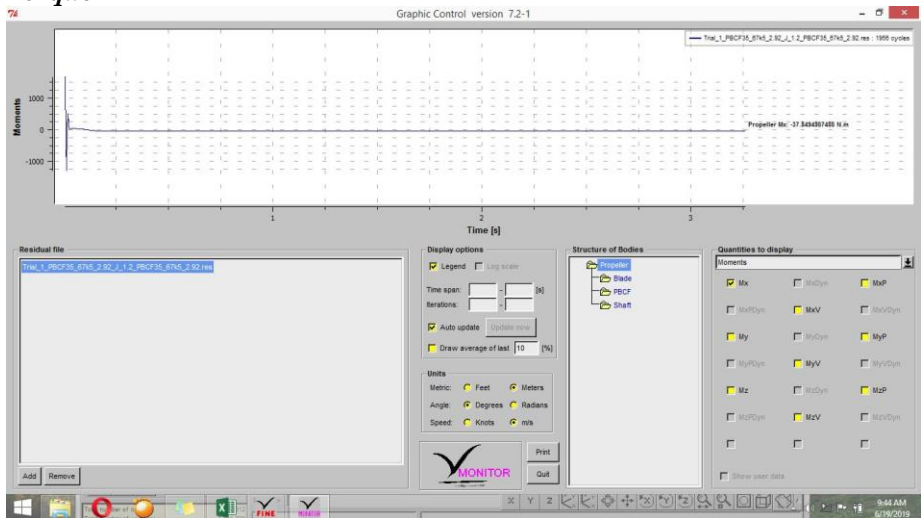
✓ **Aliran**



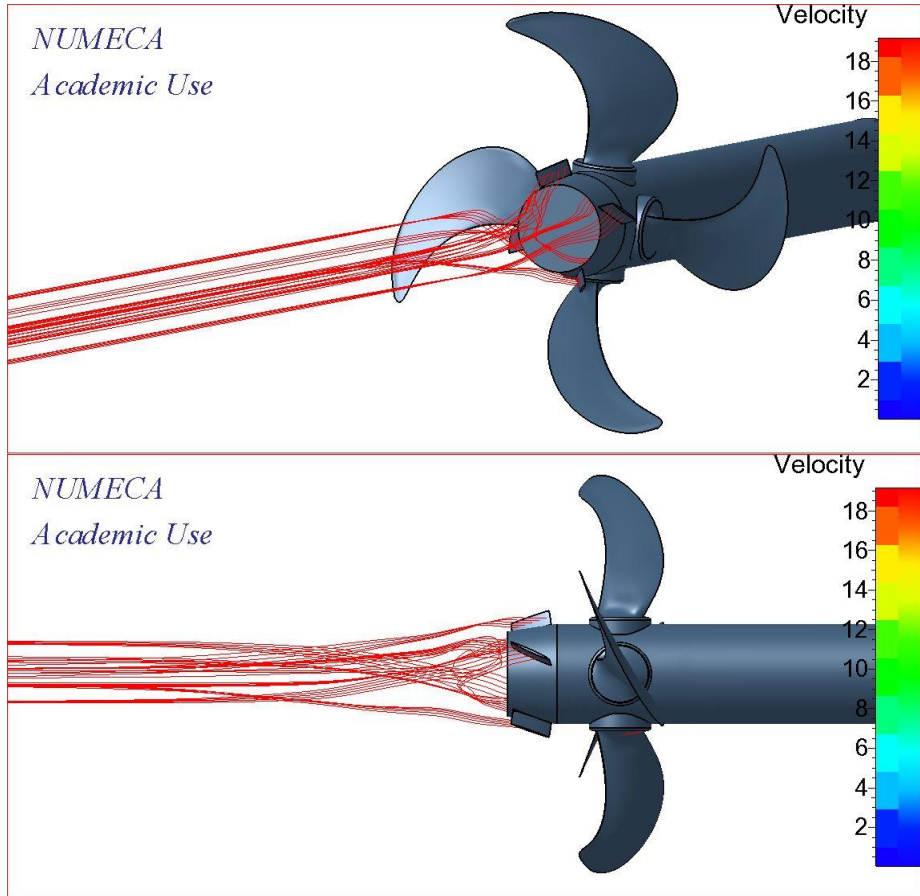
d. J 1.2  
 ✓ Thrust



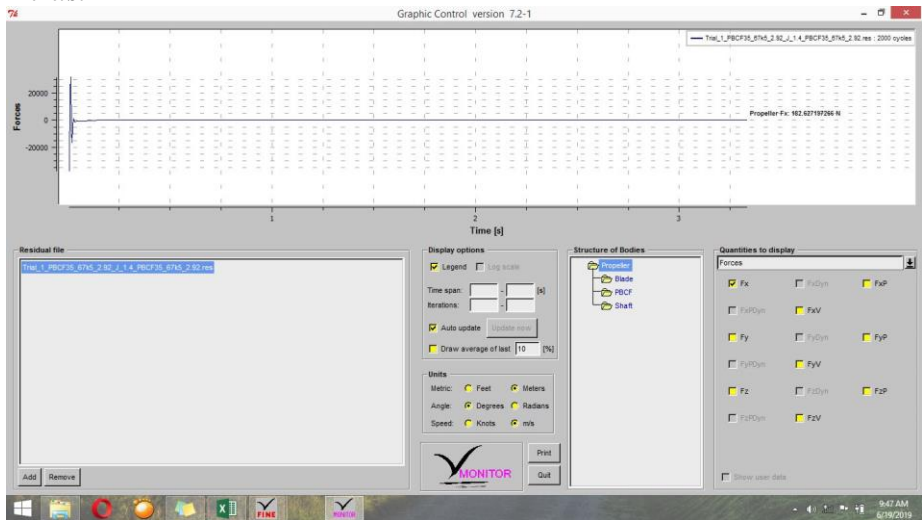
✓ Torque



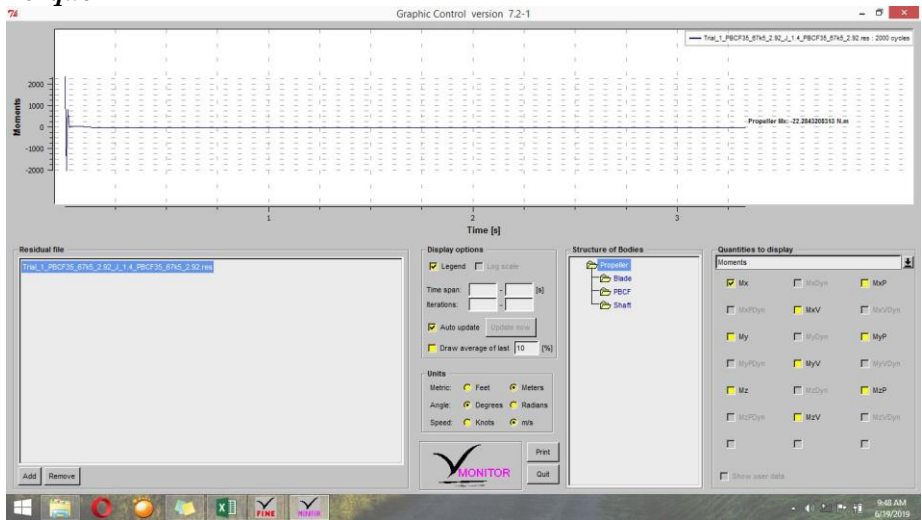
✓ **Aliran**



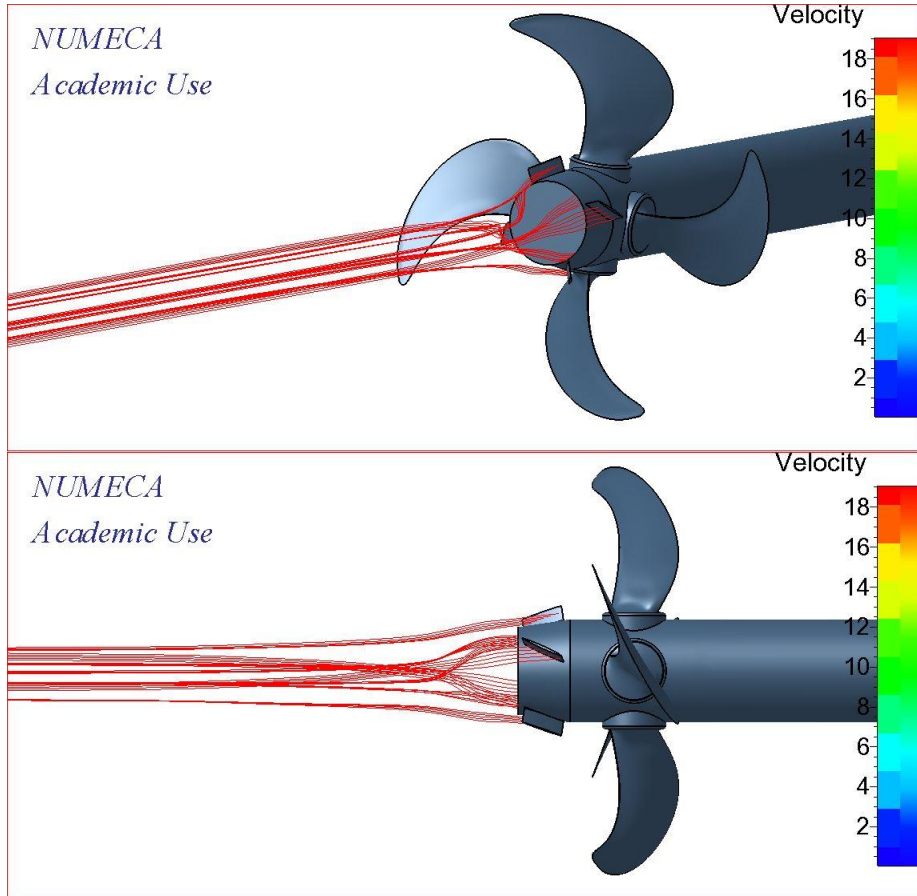
e. J 1.4  
 ✓ Thrust



✓ Torque



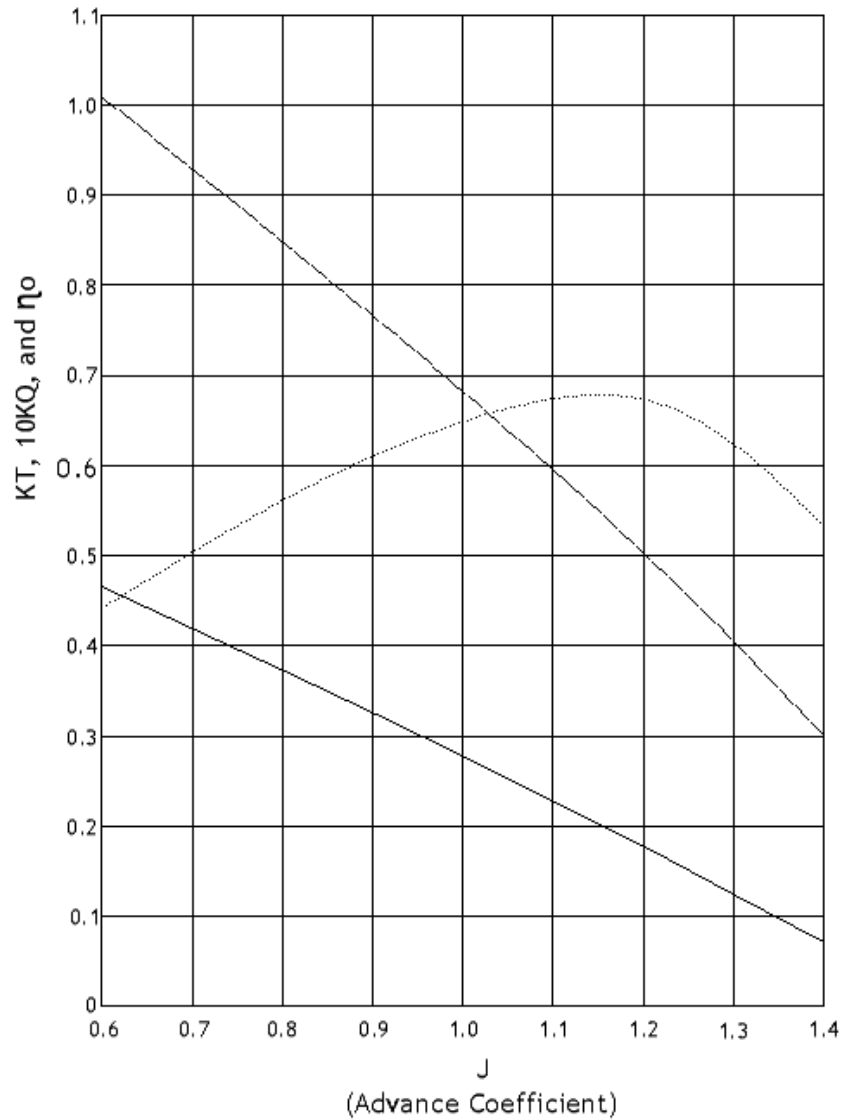
✓ **Aliran**



## 6. Perbandingan *Open water test* Curve



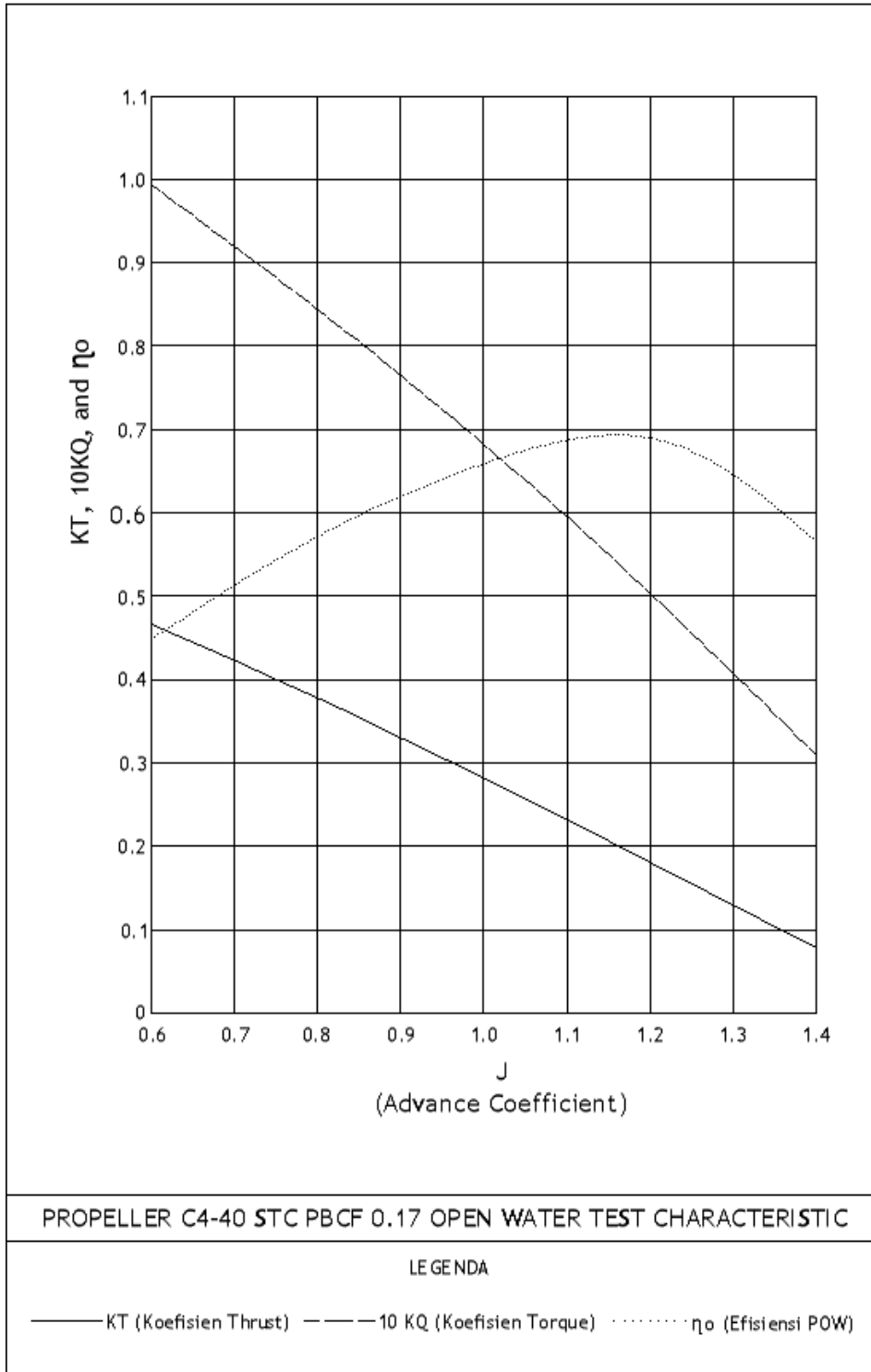


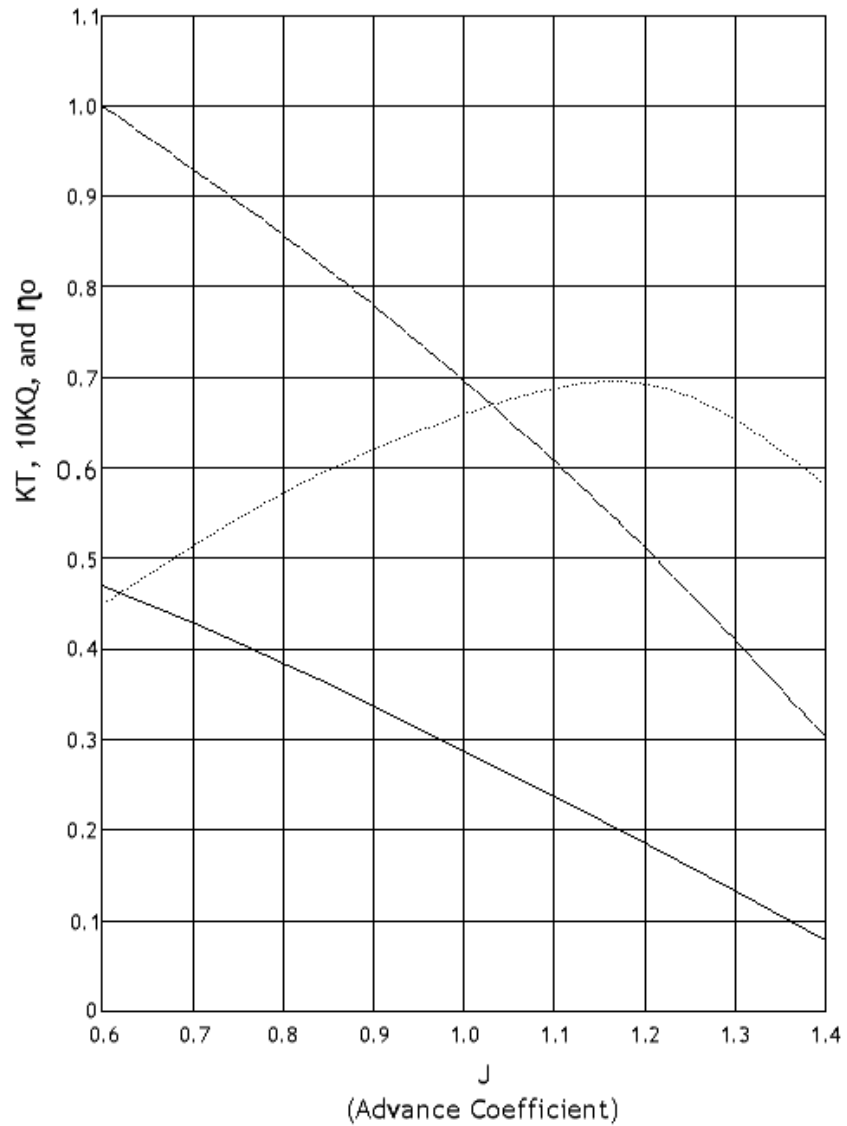


PROPELLER C4-40 OPEN WATER TEST CHARACTERISTIC

LEGENDA

—  $K_T$  (Koeffisien Thrust)    - - -  $10K_Q$  (Koeffisien Torque)    ······  $\eta_o$  (Efisiensi POW)

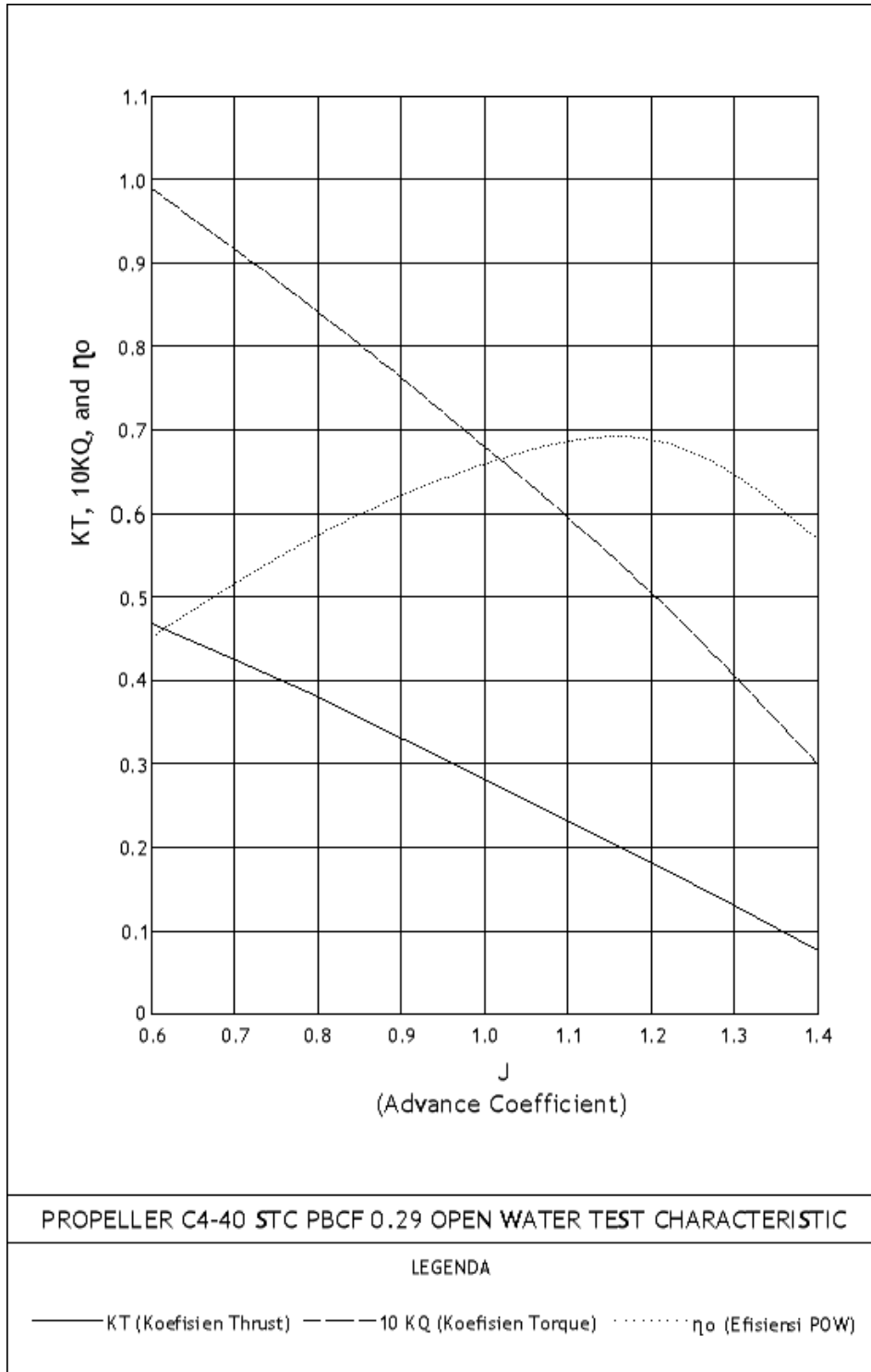


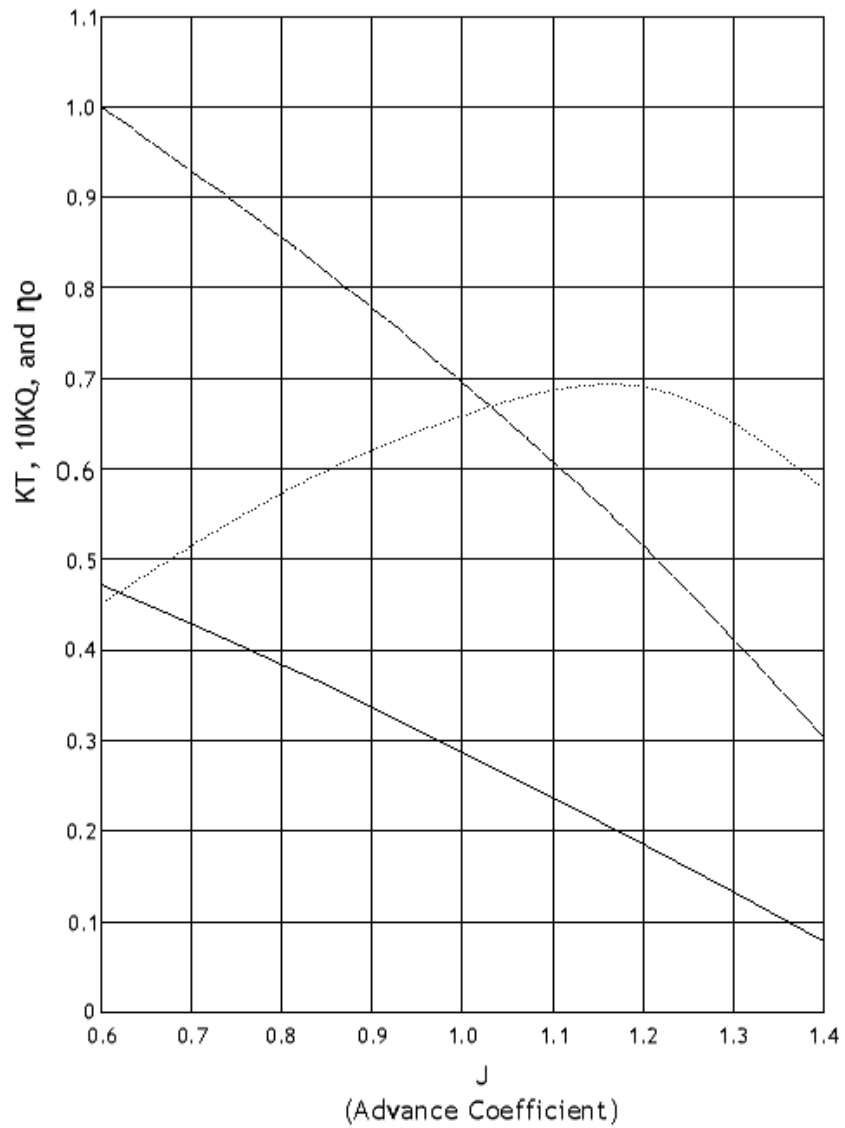


PROPELLER C4-40 STC PBCF 0.23 OPEN WATER TEST CHARACTERISTIC

LEGENDA

—— KT (Koeffisien Thrust)    - - - - 10 KQ (Koeffisien Torque)    ······  $\eta_o$  (Efisiensi POW)





PROPELLER C4-40 STC PBCF 0.34 OPEN WATER TEST CHARACTERISTIC

LEGENDA

———— KT (Koeffisien Thrust)    - - - - 10 KQ (Koeffisien Torque)    ······· ηo (Efisiensi POW)

## 7. Lisensi Software



Dear Izzul

Thank you for requesting the [marine package](#) in the free student offer.  
Please follow these instructions to get started.

### 1. Download products

- a) Go to our [Customer Area](#).
- b) Login with the following credentials:  
Username: [izzulfikry.17042@mhs.its.ac.id](mailto:izzulfikry.17042@mhs.its.ac.id)  
Password: XXXXXXXXXX
- c) Download
  - FINE™/Marine v7.2-1
    - Installation archive for the selected OS,
    - Tutorials archive,
    - Democases archive.

## 2. Installation

- a) **Install** FINE™/Marine on the machine: IZZUL-PC ([Windows/Linux](#)).
- b) **Ignore** the message to send machine information to NUMECA during installation.
- c) **Use** the attached licenses in the **Administration Tool** to activate your license ([Windows/Linux](#))

The attached licenses are only valid on the machine with:

host name	IZZUL-PC
hostID	[REDACTED]
vendor defined hostID	[REDACTED]

The licensing is deactivated if the machine configuration is changed (e.g. upgrade OS version, change network card...). Ensure that your hardware address is not generated randomly as this will change the hostID ([Windows](#)).

We are unable to issue a new license-file before the current one expires.

For questions related to the installation and use of the software please use the forum (accessible from the [Customer Area](#)). Do not hesitate to send us information about your work with NUMECA software if you would like to get featured on our website/blog.

We wish you a pleasant CFD experience with this free student version!

Regards

NUMECA Academic Group

“Halaman sengaja dikosongkan”



## BIODATA PENULIS



Izzul Fikry lahir di Pamekasan pada tanggal 30 Januari 1996. Penulis memulai pendidikan di SDI Al-Munawwarah. Setelah itu penulis melanjutkan pendidikan di SMPN 1 Pamekasan. Tiga tahun berselang penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang yang lebih tinggi di SMAN 1 Pamekasan. Pada tahun 2014 penulis memulai petualangan baru sebagai mahasiswa di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS) pada program studi D3 – Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal, Jurusan Teknik Bangunan Kapal. Penulis menyelesaikan studi diploma 3 pada tahun 2017. Pada tahun yang sama, penulis mulai menempuh pendidikan sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) pada Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan. Dengan do'a,

kerja keras, ketekunan, semangat pantang menyerah dan kerendahan hati, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini, dimana skripsi ini adalah tanda dari akhir masa studi penulis pada jenjang pendidikan sarjana. Semoga skripsi dan apa yang penulis dapatkan selama menempuh pendidikan dapat bermanfaat bagi pribadi penulis, keluarga, teman, almamater, dan bangsa Indonesia.

Data diri,

Nama	:	Izzul Fikry
Alamat	:	Desa Samatan, kec. Proppo, Kab. Pamekasan
Motto	:	Laki-laki harus tahu kapan saatnya maju dan kapan saatnya mundur, mundur untuk maju.
Email	:	izzulfikry96@gmail.com

“Halaman sengaja dikosongkan”