TUGAS AKHIR – MN 184802

# ANALISIS PENGGUNAAN *SYMMETRICAL BLADE PROPELLER* PADA KAPAL PATROLI 60M MENGGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* DENGAN VALIDASI DATA UJI *OPEN WATER TEST*

Rakasiwi Ferdin Kusuma
NRP 04111640000052

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. I Ketut Suastika
Mahendra Indiaryanto, S.T., M.T.

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

**TUGAS AKHIR – MN 184802**

# ANALISIS PENGGUNAAN *SYMMETRICAL BLADE PROPELLER* PADA KAPAL PATROLI 60M MENGGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* DENGAN VALIDASI DATA UJI *OPEN WATER TEST*

**Rakasiwi Ferdin Kusuma**
**NRP 04111640000052**

**Dosen Pembimbing**
**Dr. Ir. I Ketut Suastika**
**Mahendra Indiaryanto, S.T., M.T.**

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

FINAL PROJECT – MN 184802

# ANALYSIS THE USE OF SYMMETRICAL BLADE PROPELLER ON 60M PATROL BOAT WITH COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS METHOD AND OPEN WATER TEST VALIDATION

**Rakasiwi Ferdin Kusuma**
**NRP 04111640000052**

**Dosen Pembimbing**
**Dr. Ir. I Ketut Suastika**
**Mahendra Indiaryanto, S.T., M.T.**

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

# LEMBAR PENGESAHAN

# ANALISIS PENGGUNAAN *SYMMETRICAL BLADE PROPELLER* PADA KAPAL PATROLI 60M MENGGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* DENGAN VALIDASI DATA UJI *OPEN WATER TEST*

**TUGAS AKHIR**

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

Oleh:

**RAKASIWI FERDIN KUSUMA**
NRP 04111640000052

Disetujui oleh:

| Dosen Pembimbing I | Dosen Pembimbing II |
|---|---|
| Dr. Ir. I Ketut Suastika | Mahendra Indiaryanto, S.T., M.T. |
| NIP 19691231 200604 1 178 | NIP 19850404 200912 1 003 |

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Perkapalan

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

SURABAYA, 21 JULI 2020

# LEMBAR REVISI

## ANALISIS PENGGUNAAN *SYMMETRICAL BLADE PROPELLER* PADA KAPAL PATROLI 60M MENGGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* DENGAN VALIDASI DATA UJI *OPEN WATER TEST*

**TUGAS AKHIR**
Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 21 Juli 2020

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

Oleh:

**RAKASIWI FERDIN KUSUMA**
NRP 04111640000052

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Prof. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D. ……..……..……..
2. Aries Sulisetyono, S.T., M.A.Sc., Ph.D. ……..……..……..
3. Dony Setyawan, S.T., M.Eng. ……..……..

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Dr. Ir. I Ketut Suastika ……..……..……..
2. Mahendra Indiaryanto, S.T., M.T. ……..……..……..

# HALAMAN PERUNTUKAN

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya

# KATA PENGANTAR

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

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

1. Bapak Dr. Ir. I Ketut Suastika dan Bapak Mahendra Indiaryanto, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
2. Bapak Prof. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D. dan Bapak Aries Sulisetyono, S.T., M.A.Sc., Ph.D. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan sarannya untuk perbaikan Laporan Tugas Akhir ini;
3. Ibu Sri Rejeki Wahyu P., S.T., M.T selaku Dosen Wali yang telah memberikan ilmu dan nasihat selama penyusunan Tugas Akhir ini;
4. Pihak – pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu oleh penulis

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

Surabaya,

Rakasiwi Ferdin Kusuma

# ANALISIS PENGGUNAAN *SYMMETRICAL BLADE PROPELLER* PADA KAPAL PATROLI 60M MENGGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* DENGAN VALIDASI DATA UJI *OPEN WATER TEST*


| | | |
|---|---|---|
| Nama Mahasiswa | : | Rakasiwi Ferdin Kusuma |
| NRP | : | 04111640000052 |
| Departemen / Fakultas | : | Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan |
| Dosen Pembimbing | : | 1. Dr. Ir. I Ketut Suastika |
| | | 2. Mahendra Indiaryanto, S.T., M.T. |


## ABSTRAK


Inovasi propulsi pada kapal patroli cepat maupun kapal perang merupakan salah satu pengembangan dengan teknologi tinggi. Salah satunya adalah penelitian tentang sistem propulsi pada Kapal Patroli 60 meter. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan uji *open water test* pada desain *Symmetrical Blade Propeller*. Akan tetapi pada pengujian terkadang muncul permasalahan instrumentasi terutama pada record data maupun getaran pada *carriage* yang menimbulkan *noise* pada data akuisisi. Sehingga diperlukan analisis dengan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics*. Maka penelitian ini bertujuan untuk menganalisa penggunaan *Symmetrical Blade Propeller* pada kapal patroli 60m. Penelitian ini di laksanakan melalui beberapa tahapan, dimana diawali dengan permodelan 3D *Symmetrical Blade Propeller* yang kemudian akan dilakukan simulasi *open water* menggunakan *computational fluid dynamics*. Kemudian hasil simulasi akan digunakan untuk membuat diagram $K_T$ – $K_Q$ – J yang selanjutnya akan digunakan untuk menghitung *Engine Propeller Matching* Kapal Patroli 60m. Sehingga dari hasil tersebut di ketahui bahwa *Symetrical Blade Propeller* mampu mendorong Kapal Patroli 60m pada kecepatan yang telah ditentukan.



Kata Kunci : *Symmetrical Blade Propeller,* Kapal Patroli, *Open Water Test, Computational Fluid Dynamics, Engine Propeller Matching.*

# ANALYSIS THE USE OF SYMMETRICAL BLADE PROPELLER ON 60M PATROL BOAT WITH COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS METHOD AND OPEN WATER TEST VALIDATION


Author : Rakasiwi Ferdin Kusuma
Student Number : 04111640000052
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology
Supervisor : 1. Dr. Ir. I Ketut Suastika
2. Mahendra Indiaryanto, S.T., M.T.


# ABSTRACT


Propulsion innovation on fast patrol boat and warships is one of the high technology developments. One of them is research about propulsion systems on 60 meter Patrol Boats. In previous studies, an open water test was carried out on the Symmetrical Blade Propeller design. However, in the test instrumentation problems sometimes arise, especially in the data records and vibrations in the carriage that cause noise in data acquisition. So it is needed an analysis using the Computational Fluid Dynamics method. Then it aims to analyze the use of symmetrical blade propellers on 60m Patrol Boats. This research was carried out through several stages, which began with Symmetrical Blade Propeller 3D modeling which will be performed an open water simulation using Computational Fluid Dynamics. Then the simulation results will be used to make the $K_T$ - $K_Q$ - J diagram which will be used to calculate the 60m Patrol Boat Engine Propeller Matching. So from these results it is known that the Symetrical Blade Propeller is able to drive the 60m Patrol Boat at a predetermined speed.



Keywords : Symmetrical Blade Propeller, Patrol Boat, Open Water Test, Computational Fluid Dynamics, Engine Propeller Matching

# DAFTAR ISI


LEMBAR PENGESAHAN ..... v
LEMBAR REVISI ..... vii
HALAMAN PERUNTUKAN ..... ix
KATA PENGANTAR ..... xi
ABSTRAK ..... xiii
ABSTRACT ..... xv
DAFTAR ISI ..... xvii
DAFTAR GAMBAR ..... xxi
DAFTAR TABEL ..... xxv
DAFTAR SIMBOL ..... xxvii
BAB 1 PENDAHULUAN ..... 1
1.1. Latar Belakang Masalah ..... 1
1.2. Perumusan Masalah ..... 1
1.3. Tujuan ..... 2
1.4. Batasan Masalah ..... 2
1.5. Manfaat ..... 3
1.6. Hipotesis ..... 3
BAB 2 STUDI LITERATUR ..... 5
2.1. Dasar Teori ..... 5
2.1.1. Hambatan Kapal ..... 5
2.1.2. Karakteristik Propeller ..... 6
2.1.3. Interaksi Lambung Kapal & Baling – Baling ..... 8
2.1.4. *Engine Propeller Matching* ..... 8
2.2. Tinjauan Pustaka ..... 11
2.2.1. *Symmetrical Blade Propeller* ..... 11
2.2.2. *Computational Fluid Dynamics* ..... 12
BAB 3 METODOLOGI ..... 17
3.1. Bagan Alir ..... 17
3.2. Tahapan Penelitian ..... 18
3.2.1. Studi Literatur ..... 18
3.2.2. Perumusan Masalah ..... 18
3.2.3. Perumusan Hipotesis ..... 18
3.2.4. Pengumpulan Data ..... 18
3.2.5. Pembuatan 3D Model ..... 18
3.2.6. Konversi Model Untuk CFD ..... 18
3.2.7. *Running* CFD Tiap Model Dengan Variasi Nilai J ..... 19
3.2.8. Plot Diagram $K_T$-$K_Q$-J ..... 19
3.2.9. Menghitung *Engine Propeller Matching* ..... 19
3.2.10. Kesimpulan dan Saran ..... 19
BAB 4 SIMULASI *OPEN WATER* DENGAN CFD ..... 21
4.1. Simulasi *open water Symmetrical Blade Propeller* ..... 21
4.1.1. Pembuatan 3D Model *Symmetrical Blade Propeller* ..... 21
4.1.2. *Import* 3D Model *Symmetrical Blade Propeller* ke Numeca FineMarine ..... 22

4.1.3. Meshing 3D Model *Symmetrical Blade Propeller* ..... 23
4.1.4. *Grid Independence Test Symmetrical Blade Propeller* ..... 26
4.1.5. *Setup solver* simulasi *Symmetrical Blade Propeller* ..... 27
4.2. Simulasi *Open Water B Series Propeller* ..... 29
4.2.1. Pembuatan 3D Model *B Series Propeller* ..... 29
4.2.2. *Meshing* 3D Model *B Series Propeller* ..... 30
4.2.3. *Grid Independence Test B Series Propeller* ..... 31
4.2.4. *Setup solver* simulasi *B Series Propeller* ..... 31
BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN ..... 33
5.1. Hasil Simulasi CFD *Symmetrical Blade Propeller* ..... 33
5.1.1. Validasi Hasil Simulasi *Simmetrical Blade Propeller* ..... 34
5.1.2. Plot Diagram $K_T$ – $K_Q$ – J *Symmetrical Blade Propeller* ..... 35
5.2. Hasil Simulasi CFD *B Series Propeller* ..... 35
5.2.1. Validasi Hasil Simulasi *B Series Propeller* ..... 37
5.2.2. Plot Diagram $K_T$ – $K_Q$ – J *B Series Propeller* ..... 37
5.3. Perbandingan Simulasi *Symmetrical Blade Propeller* & *B Series Propeller* ..... 38
5.4. *Engine Propeller Matching* ..... 39
5.4.1. *Engine Propeller Matching Symmetrical Blade Propeller* ..... 40
5.4.2. Engine Propeller Matching B Series Propeller ..... 45
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN ..... 49
6.1. Kesimpulan ..... 49
6.2. Saran ..... 49
DAFTAR PUSTAKA ..... 51
LAMPIRAN ..... 53
LAMPIRAN A HASIL *THRUST* DAN *TORQUE* SIMULASI CFD ..... 55
LAMPIRAN B VISUALISASI ALIRAN ..... 101
LAMPIRAN C DIAGRAM $K_T$ DESAIN PADA SETIAP KECEPATAN ..... 125
BIODATA PENULIS ..... 147

# DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Komponen Hambatan Kapal (Molland, 2011) ..... 5
Gambar 2.2 Diagram $K_T$ – $K_Q$ – J ..... 7
Gambar 2.3 Gaya – gaya yang bekerja pada sistem penggerak kapal (Adji, 2005) ..... 10
Gambar 2.4 Desain symmetrical blade propeller (UPT – BTH) ..... 11
Gambar 2.5 Symmetrical Blade Propeller (Indiaryanto, 2017) ..... 12
Gambar 2.6 Tahap Geometri ..... 14
Gambar 2.7 Tahap Mesh ..... 15
Gambar 2.8 Setup Open Water Test menggunakan Numeca FINE Marine ..... 15
Gambar 2.9 Running CFD menggunakan Numeca FINE Marine ..... 16
Gambar 2.10 Result CFD menggunakan Numeca FINE Marine ..... 16
Gambar 3.1 Diagram Alir Penyusunan Tugas Akhir ..... 17
Gambar 4.1 3D Model *Symmetrical Blade Propeller* ..... 21
Gambar 4.2 *Import* 3D Model dan *setup C-Wizard* ..... 22
Gambar 4.3 *input* rpm, Va, dan Jenis Fluida pada *C-Wizard* ..... 22
Gambar 4.4 Tahap Pembuatan *mesh* pada Numeca FineMarine ..... 23
Gambar 4.5 *Initial Mesh* Pada HEXPRESS Numeca FineMarine ..... 23
Gambar 4.6 *Setting* yang Digunakan pada *Adapt to Geometry* ..... 24
Gambar 4.7 *Setting Snap to Geometry* ..... 24
Gambar 4.8 *Setting* Pada Tahap *Optimize* ..... 24
Gambar 4.9 *Setting* Pada Tahap *Viscous Layer* ..... 25
Gambar 4.10 Hasil *Mesh Symmetrical Blade Propeller* ..... 25
Gambar 4.11 Grafik *Grid Independence Test Symmetrical Blade Propeller* ..... 26
Gambar 4.12 *Setting* yang digunakan pada *General Parameter* ..... 27
Gambar 4.13 *Setting yang digunakan pada Fluid Model* ..... 27
Gambar 4.14 *Setting Flow Model* ..... 27
Gambar 4.15 *Setting* yang digunakan pada *Boundary Condition* ..... 28
Gambar 4.16 *Setup Initial Solution* ..... 29
Gambar 4.17 3D Model *B Series Propeller* ..... 30
Gambar 4.18 Hasil *Mesh B Series Propeller* ..... 30
Gambar 4.19 Grafik *Grid Independence Test B Series Propeller* ..... 31
Gambar 5.1 Visualisasi Aliran *Symmetrical Blade Propeller* pada J=0.9 ..... 33
Gambar 5.2 *Streamline Symmetrical Blade Propeller* pada J=0.9 ..... 34
Gambar 5.3 Diagram $K_T$ – $K_Q$ – J *Symmetrical Blade Propeller* ..... 35
Gambar 5.4 Visualisasi Aliran *B Series Propeller* pada J = 0.9 ..... 36
Gambar 5.5 *Streamline B Series Propeller* pada J = 0.9 ..... 36
Gambar 5.6 Diagram $K_T$ – $K_Q$ – J *B Series Propeller* ..... 37
Gambar 5.7 Grafik *Thrust – J Symmetrical Blade Propeller & B Series Propeller* ..... 38
Gambar 5.8 Grafik *Torque – J Symmetrical Blade Propeller & B Series Propeller* ..... 38
Gambar 5.9 Plot $K_T$ desain pada diagram *open water symmetrical blade propeller* ..... 40
Gambar 5.10 Data *engine envelope* (BTH-BPPT) ..... 42
Gambar 5.11 Grafik *propeller load* ..... 43
Gambar 5.12 Grafik *Engine Envelope* dan *Propeller Load Symmetrical Blade Propeller* pada Kondisi CSR ..... 44

Gambar 5.13 Grafik *Engine Envelope* dan *Propeller Load Symmetrical Blade Propeller* pada Kondisi MCR.....44
Gambar 5.14 Plot $K_T$ desain pada diagram *open water B Seres Propeller* .....45
Gambar 5.15 Grafik *Propeller Load B Series Propeller*.....46
Gambar 5.16 Grafik *Engine Envelope* dan *Propeller Load B Series Propeller* pada Kondisi CSR.....47
Gambar 5.17 Grafik *Engine Envelope* dan *Propeller Load B Series Propeller* pada Kondisi MCR .....47

# DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Ukuran Utama *Symmetrical Blade Propeller* dari BTH.....21
Tabel 4.2 *Grid Independence Test Symmetrical Blade Propeller*.....26
Tabel 4.3 Ukuran Utama *B Series Propeller*.....29
Tabel 4.4 *Grid Independence B Series Propeller*.....31
Tabel 5.1 Hasil Simulasi *Symmetrical Blade Propeller*.....33
Tabel 5.2 Validasi Hasil Simulasi CFD dengan Data Uji *Open Water Test*.....34
Tabel 5.3 Hasil Simulasi *B Series Propeller*.....36
Tabel 5.4 Validasi Hasil Simulasi CFD dengan Data Uji BTH.....37
Tabel 5.5 Data uji hambatan kapal patroli 60m.....39
Tabel 5.6 Nilai $\alpha$ dan $\beta$.....39
Tabel 5.7 Perhitungan $K_T$ desain pada tiap kecepatan.....40
Tabel 5.8 Perhitungan nilai BHP.....41
Tabel 5.9 Spesifikasi *main engine* yang ditentukan.....41
Tabel 5.10 Perhitungan *propeller load*.....43
Tabel 5.11 Perhitungan nilai BHP.....45
Tabel 5.12 Perhitungan *Propeller Load B Series Propeller*.....46

# DAFTAR SIMBOL

$K_T$ = Koefisien gaya dorong (*Thrust*) baling - baling

$K_Q$ = Koefisien torsi baling – baling

J = Koefisien *advanced* baling – baling

$V_A$ = Kecepatan *advanced* dari fluida yang melintasi *propeller* disk

$\eta_o$ = Efisiensi baling – baling pada kondisi *open water*

$n$ = Putaran baling – baling

D = Diameter baling – baling

$T_{prop}$ = Gaya dorong baling – baling (*Propeller Thrust)*

$Q_{prop}$ = Torsi baling – baling (*Propeller Torque)*

ρ = Massa jenis fluida

$C_T$ = Koefisien hambatan total kapal

S = Luasan permukaan basah

$P_E$ = Daya Efektif

$R_T$ = Hambatan Total

$V_S$ = Kecepatan servis kapal

$V_A$ = kecepatan *advanced* aliran fluida di bagian buritan kapal

$P_T$ = Daya dorong

T = Gaya dorong

w = *Wake fraction*

t = *Thrust deduction factor*

$P_D$ = Daya yang disalurkan

# BAB 1
# PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang Masalah

Inovasi propulsi pada kapal patroli cepat maupun kapal perang merupakan salah satu pengembangan dengan teknologi tinggi. Dasar desain propeller kapal cepat adalah ketepatan dalam memilih jenis propellernya. Dimana jika dipilih jenis *B Series Propeller* akan tidak cocok digunakan pada kapal cepat karena jenis propeller tersebut digunakan untuk kapal niaga dengan *Froude number* < 0.3. sedangkan desain *Symmetrical Blade Propeller* biasanya cocok di gunakan untuk jenis kapal dengan *Froude number* > 0.4 (Indiaryanto, 2017). Untuk itu perlu dilakukan analisis desain *Symmetrical Blade Propeller* dengan beberapa teori propeller yang ada.

Penelitian dan pengujian model Kapal Patroli 60 meter telah dilakukan sejak tahun 2016. UPT-BTH LHI bekerja sama dengan Galangan Kapal mulai melakukan pengembangan sistem propulsi Kapal Patroli 60 meter dengan menguji modelnya di *towing tank* Balai Teknologi Hidrodinamika, Surabaya.

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan uji open water test pada *Symmetrical Blade Propeller*. Akan tetapi pada pengujian terkadang muncul permasalahan instrumentasi terutama pada record data maupun getaran pada *carriage* yang menimbulkan *noise* pada data sehingga diperlukan analisis menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics*. Analisa data uji open water test dilakukan untuk mendapatkan diagram $K_T$ – $K_Q$ – J yang kemudian digunakan untuk memverivikasi hasil analisis dengan menggunakan CFD.

## 1.2. Perumusan Masalah

Dari latar belakang yang sudah dijelaskan sebelumnya, perumusan masalah yang didapatkan antara lain:

1. Bagaimana menganalisa hasil *open water test*?
2. Bagaimana karakteristik *Symmetrical Blade Propeller* jika dibandingkan dengan *B-Series Propeller*?
3. Bagaimana *Engine Propeller Matching Symmetrical Blade Propeller* yang digunakan pada Kapal Patroli 60 m?

## 1.3. Tujuan

Tujuan dari pengerjaan tugas akhir ini antara lain:

1. Menganalisa hasil uji *open water test*.
2. Membandingkan karakteristik *Symmetrical Blade Propeller* dengan *B-Series Propeller*.
3. Menganalisa *Engine Propeller Matching Symmetrical Blade Propeller* yang digunakan pada Kapal Patroli 60 m.

## 1.4. Batasan Masalah

Dengan meninjau penelitian yang akan dilakukan, dan juga karena terbatasnya waktu dan sumber daya, dibuatlah beberapa batasan masalah dalam pengerjaan tugas akhir ini. Batasan masalahnya meliputi:

1. Penelitian difokuskan pada *Symetrical Blade Propeller* kapal patroli 60 meter.
2. Berdasarkan data hambatan lambung kapal patroli 60 meter yang telah di uji di Laboratorium Hidrodinamika Indonesia.
3. Berdasarkan data uji hidrodinamika berupa uji *open water test* pada kolam *Towing Tank.*
4. Penelitian didasarkan untuk mencari diagram $K_T$ – $K_Q$ – J yang dilakukan pendekatan dengan perhitungan CFD yang akan digunakan untuk menghitung *Engine Propeller Matching.*
5. Ukuran utama *Symmetrical Blade Propeller* yang dianalisa adalah sebagai berikut :
   D = 1.75m
   P/D = 1.38
   Ae/Ao = 0.828
   Jumlah Daun = 4
6. Ukuran utama *B Series Propeller* yang dianalisa adalah sebagai berikut :
   D = 1.75m
   P/D = 0.939
   Ae/Ao = 1.064
   Jumlah Daun = 4

## 1.5. Manfaat

Manfaat dari pengerjaan tugas akhir ini antara lain:

*1*. Dapat menganasila hasil uji *open water test.*

2. Dapat diketahui hasil *Engine Propeller Matching* pada desain *Symmetrical Blade Propeller* Kapal Patroli 60 meter sehingga di harapkan mampu meminimalisir penggunaan daya mesin pada kapal tersebut.

3. Dapat membandingkan *Symmertical Blade Propeller* dengan *B-Series propeller*.

4. Hasil penelitian dapat berguna dalam pengembangan desain *Symmetrical Blade Propeller* yang lebih lanjut.

## 1.6. Hipotesis

1. *Symmetrical Blade Propeller* memiliki peforma yang lebih baik dibandingkan dengan *B-Series Propeller* pada Kapal Patroli 60 m.

2. *Symmetrical Blade Propeller* sesuai dengan *main engine* yang digunakan pada Kapal Patroli 60 m.

Halaman ini sengaja dikosongkan

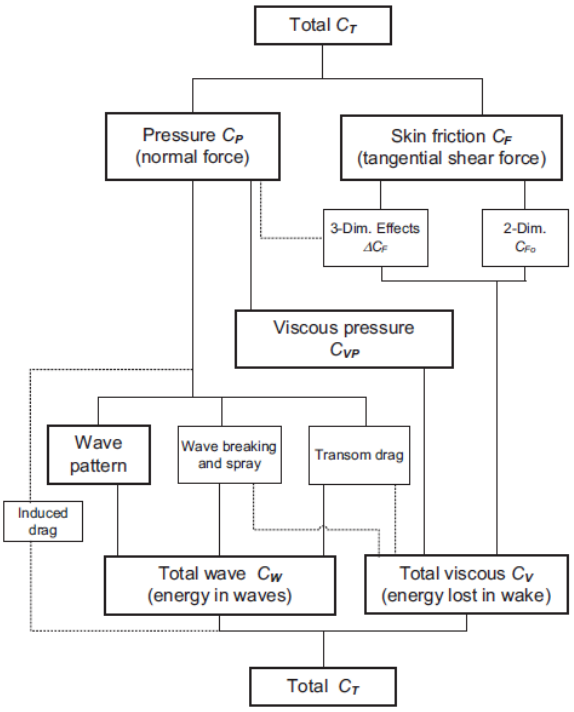
# BAB 2
# STUDI LITERATUR

## 2.1. Dasar Teori

### 2.1.1. Hambatan Kapal

Salah satu tahapan yang sangat berpengaruh didalam melaksanakan proses Analisa *Engine Propeller Matching* adalah tahap pemodelan dari karakteristik badan kapal yang dirancang/diamati. Hal ini disebabkan karena Karakteristik Badan Kapal mempunyai efek langsung terhadap karakteristik baling-baling (*propeller*).

Hambatan kapal ini merupakan gaya hambat dari media fluida yang dilalui oleh kapal saat beroperasi dengan kecepatan tertentu. Besarnya gaya hambat total ini merupakan jumlah dari semua komponen gaya hambat yang bekerja di kapal, meliputi Hambatan Gesek, Hambatan Gelombang, Hambatan Appendages, Hambatan Udara, dsb.




**Gambar 2.1 Komponen Hambatan Kapal (Molland, 2011)**

Secara sederhana Hambatan Total Kapal dapat diperoleh dengan persamaan

$$R_T = 0{,}5\rho C_T S V_s^2 \quad (1)$$

$$R_T = \alpha V_s^2 \quad (2)$$

Dimana :

$C_T$ = Koefisien hambatan total kapal

S = Luasan permukaan basah

Gaya Dorong (*Thrust*) kapal merupakan komponen yang sangat penting, yangmana digunakan untuk mengatasi Tahanan (*Resistance*) atau Gaya Hambat kapal. Pada kondisi yang sangat-sangat ideal, besarnya gaya dorong yang dibutuhkan mungkin sama besar dengan gaya hambat yang terjadi dikapal. Namun kondisi tersebut sangat tidak realistis, karena pada faktanya di badan kapal tersebut terjadi phenomena hidrodinamis yang menimbulkan degradasi terhadap nilai besaran gaya dorong kapal. Sehingga untuk gaya dorong kapal dapat ditulis seperti model persamaan

$$T = \frac{R}{(1-t)} \tag{3}$$

$$T_{SHIP} = \frac{\alpha V_A^2}{(1-t)(1-w)^2} \tag{4}$$

Dimana :

t = *thrust deduction factor*

w = *wake fraction*

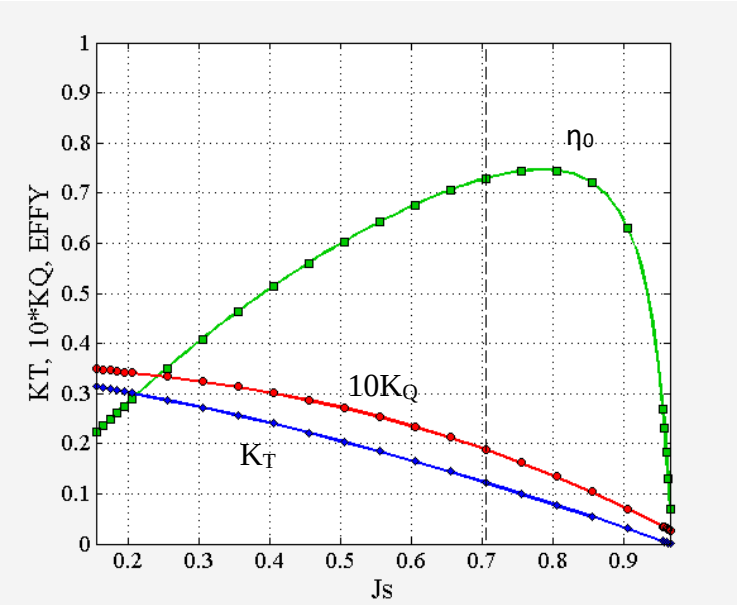
$T_{SHIP}$ = Gaya dorong kapal (kN)

Untuk studi ini, nilai *thrust deduction factor* dan *wake fraction* diperoleh dari hasil pengujian hambatan kapal patroli 60m yang telah dilakukan di LHI.

### 2.1.2. Karakteristik Propeller

Secara umum karakteristik dari baling – baling kapal pada kondisi *open water test* adalah seperti yang direpresentasikan pada Diagram $K_T$ – $K_Q$ – J (Gambar 2.1). Setiap tipe dari masing – masing baling – baling kapal, memiliki karakteristik kurva kinerja yang berbeda – beda. Sehingga, kajian terhadap karakteristik baling – baling kapal tidak dapat di *generalised* untuk keseluruhan bentuk atau tipe dari baling – baling.

Sebelumnya telah dilakukan uji *open water test* di LHI yang kemudian didapatkan diagram $K_T$ – $K_Q$ – J yang ditunjukkan pada Gambar 2.2




**Gambar 2.2 Diagram $K_T$ – $K_Q$ – J**

Menurut Harvald (1983), Model persamaan untuk karakteristik kinerja baling – baling kapal adalah sebagai berikut,

$$K_T = \frac{T_{prop}}{\rho\, n^2 D^4} \quad (7)$$

$$K_Q = \frac{Q_{prop}}{\rho\, n^2 D^5} \quad (8)$$

$$J = \frac{V_A}{nD} \quad (9)$$

$$\eta_o = \frac{JK_T}{2\pi\ K_Q} \quad (10)$$

Dimana :

$K_T$ = Koefisien gaya dorong (*Thrust*) baling - baling

$K_Q$ = Koefisien torsi baling – baling

J = Koefisien *advanced* baling – baling

$V_A$ = Kecepatan *advanced* dari fluida yang melintasi *propeller* disk

$\eta_o$ = Efisiensi baling – baling pada kondisi *open water*

$n$ = Putaran baling – baling

D = Diameter baling – baling

$T_{prop}$ = Gaya dorong baling – baling (*Propeller Thrust)*

$Q_{prop}$ = Torsi baling – baling (*Propeller Torque)*

ρ = Massa jenis fluida

Data yang berasal dari pengujian *open water test* berupa *thrust*, torsi, dan putaran baling – baling harus di plot terhadap kecepatan *advance.* Masing – masing kurva pada diagram harus sesuai dengan kecepatan *advance.*

### 2.1.3. Interaksi Lambung Kapal & Baling – Baling

Interaksi lambung kapal dan baling – baling (*Hull & Propeller Interaction)* merupakan upaya pendekatan diatas kertas untuk mendapatkan kinerja baling – baling saat beroperasi untuk kondisi *behind the ship.* Metodenya adalah dengan mengolah persamaan (4) dan (7) sebagai berikut:

$$T_{SHIP} = \frac{\alpha V_A^2}{(1-t)(1-w)^2} \quad (11)$$

$$T_{prop} = K_T \rho n^2 D^4 \quad (12)$$

$$T_{ship} = T_{prop}$$

$$K_T = \frac{\alpha V_A^2}{(1-t)(1-w)^2 \rho n^2 D^4} \quad (13)$$

Jika $\beta = \frac{\alpha}{(1-t)(1-w)^2 \rho D^4}$

Maka persamaan (13) menjadi

$$K_T = \beta \frac{V_A^2}{n^2 D^4} \quad (14)$$

Sehingga diperoleh hubungan persamaan sebagai berikut

$$K_T = \beta J^2 \quad (15)$$

Dimana :

$T_{ship}$ = Gaya Dorong Kapal (kN)

$T_{prop}$ = Gaya Dorong Propeller (kN)

### 2.1.4. *Engine Propeller Matching*

Secara umum kapal bergerak di media air dengan kecepatan tertentu, maka akan mengalami gaya hambat (*resistanc*e) yang berlawanan dengan arah gerak kapal tersebut. Besarnya gaya hambat yang terjadi harus mampu diatasi oleh gaya dorong kapal (*thrust)* yang dihasilkan dari kerja alat gerak kapal (*propulsor).* Daya yang disalurkan ($P_D$) ke alat gerak kapal adalah berasal dari Daya Poros ($P_S$), sedangkan Daya Poros sendiri bersumber dari Daya Rem ($P_B$) yang merupakan daya luaran motor penggerak kapal.

Daya Efektif ($P_E$) adalah besarnya daya yang dibutuhkan untuk mengatasi gaya hambat dari badan kapal, agar kapal dapat bergerak dari satu tempat ke tempat lain dengan kecepatan servis sebesar Vs. Daya efektif ini merupakan fungsi dari besarnya besarnya gaya hambat total dan kecepatan kerja. Untuk mendapatkan besarnya daya efektif kapal, dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$P_E = R_T V_S \quad (16)$$

Dimana :

$P_E$ = Daya Efektif (kWatt)

$R_T$ = Hambatan Total (kN)

$V_S$ = Kecepatan servis kapal (knots)

Daya Dorong ($P_T$) adalah besarnya daya yang dihasilkan oleh kerja dari alat gerak kapal (*propulsor*) untuk mendorong badan kapal. Daya dorong merupakan fungsi dari gaya dorong dan laju aliran fluida yang terjadi saat alat gerak kapal bekerja. Adapun persamaan daya dorong dapat dituliskan sebagai berikut :

$$P_T = TV_A \quad (17)$$

Dimana :

$P_T$ = Daya dorong (kW)

T = Gaya dorong (kN)

$V_A$ = kecepatan *advanced* aliran fluida di bagian buritan kapal (m/det)

= $V_S$ (1 – w), yangmana w adalah *wake fraction* (fraksi arus ikut)

Daya Yang Disalurkan ($P_D$) adalah daya yang diserap oleh baling – baling kapal guna menghasilkan daya dorong sebesar $P_T$. Atau dengan kata lain, $P_D$ merupakan daya yang disalurkan oleh motor penggerak ke baling – baling kapal (*propeller)* yang kemudian dirubahnya menjadi daya dorong kapal ($P_T$). Variabel yang berpengaruh pada daya ini adalah Torsi yang disalurkan dan Putaran baling – baling, sehingga persamaan untuk menghitung $P_D$ adalah sebagai berikut :

$$P_D = 2\pi Q_D n_p \quad (18)$$

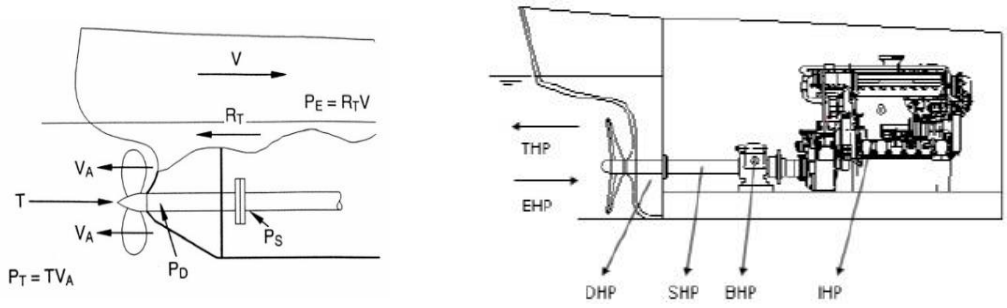
Dimana :

$P_D$ = Daya yang disalurkan (kW)

$Q_D$ = Torsi baling – baling kondisi dibelakang badan kapal (kNm)

$n_P$ = Putaran baling – baling (rps)

Daya Poros ($P_S$) adalah daya yang terukur hingga daerah di depan bantalan tabung poros (*stern tube*) dari sistem perporosan penggerak kapal. Untuk kapal-kapal yang berpenggerak dengan Turbin Gas, pada umumnya, daya yang digunakan adalah $P_S$. Sementara itu, istilah Daya Rem (*Brake Power*, $P_B$) adalah daya yang dihasilkan oleh motor penggerak utama (*main engine)* dengan tipe *marine diesel engines*.




**Gambar 2.3 Gaya – gaya yang bekerja pada sistem penggerak kapal (Adji, 2005)**

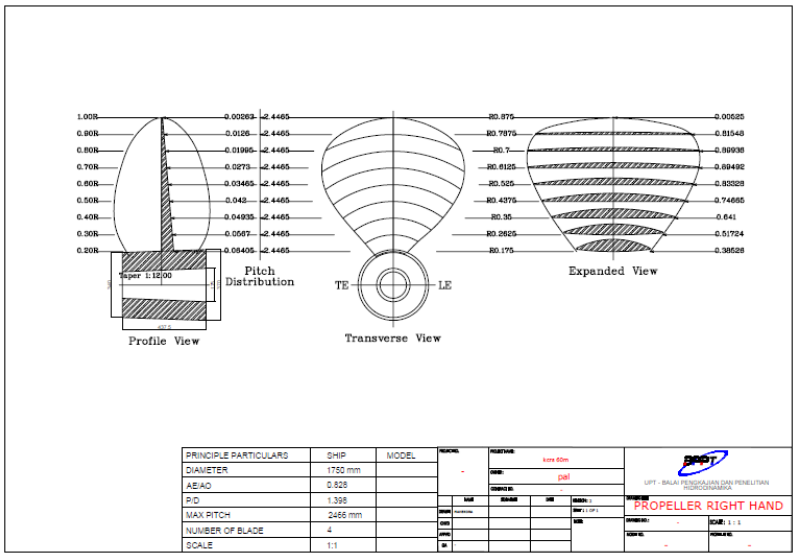
Setelah torsi propeller didapat, maka dengan menggunakan persamaan (18) dapat dihasilkan nilai DHP (*Delivery Horse Power)* yang selanjutnya dapat di hitung harga SHP (*Shaft Horse Power*) dengan asumsi jika kamar mesin terletak di bagian belakang dari badan kapal maka besarnya *losses* akibat sistem transmisi perporosan tersebut berkisar 2–3% (Lewis, 1988).

$P_B$ (*Brake Power*) adalah daya yang diterima oleh poros transmisi sistem penggerak kapal (SHP), yang selanjutnya dioperasikan secara kontinyu untuk menggerakkan kapal pada kecepatan servisnya. Dengan memperhitungan efisiensi mekanis pada susunan *gearbox* sebesar 98% (Molland, 2011), maka dapat didapatkan nilai BHP-CSR yang mana merupakan daya output dari motor penggerak pada kondisi *Continous Service Rating* (CSR), yaitu daya motor pada kondisi 85% dari *Maximum Continous Rating* (MCR). Sehingga untuk menentukan besarnya daya motor yang di-*instal* di kapal, harus ditentukan nilai BHP-MCR yang kemudian nilai BHP dibagi 2 karena Kapal Patroli 60m ini menggunakan 2 *main engine*. Setelah didapatkan *main engine* yang sesuai maka dengan membandingkan rpm *main engine* dan rpm *propeller* akan didapatkan *gearbox* yang sesuai.

## 2.2. Tinjauan Pustaka

### 2.2.1. *Symmetrical Blade Propeller*

*Propeller* merupakan salah satu sistem propulsi pada kapal. Inovasi propulsi pada kapal patroli cepat maupun kapal perang merupakan salah satu pengembangan dengan teknologi tinggi. Telah banyak dilakukan penelitian tentang desain dari propeller yang digunakan pada kapal cepat, salah satunya adalah penelitian desain *symmetrical blade propeller* pada kapal patroli 60 meter. *Symmetrical blade propeller* merupakan desain propeller dengan bentuk daun yang simetris, dimana *leading edge* dan *trailling edge* propeller tersebut memiliki bentuk yang simetris. Pada penelitian ini digunakan *propeller* dengan diameter sebesar 1.75m dan menggunakan 4 daun.



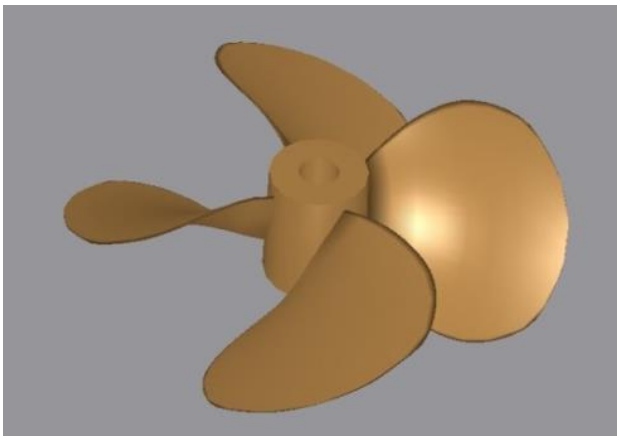

**Gambar 2.4 Desain symmetrical blade propeller (BTH-BPPT)**

Dasar desain propeller kapal cepat adalah ketepatan dalam memilih propellernya. Dimana jika dipilih jenis propeller dengan B-Series akan tidak cocok peruntukannya. Karena jenis propeller tersebut digunakan untuk kapal – kapal jenis niaga, atau kapal yang beroperasi pada *Froude number* < 0,3. Sedangkan desain propeller *Symmetrical blade* biasanya cocok digunakan untuk kapal jenis ini dimana kecepatan operasional pada *Froude number* > 0,4. Untuk itu, perlu dilakukan perhitungan numerik untuk mendesain dan menghitung performa propeller dengan beberapa teori propeller yang sudah ada (Indiaryanto, 2017).

*Symmetrical Blade Propeller* sendiri merupakan pengembangan dari *Gawn Series.* Menurut Charlton (2007), *Gawn Series* memiliki *face pitch* yang seragam, dimana gaya angkat berada di *leading* dan *trailing edge.* Propeller jenis ini memiliki data set yang berguna untuk

pengembangan desain kapal perang dan kapal cepat lainnya karena berbagai nilai P/D dan $A_E/A_O$ yang dicakup. Semakin tinggi rasio pitch, maka propeller akan menyerap tenaga semakin besar, pada suatu putaran mesin yang tetap. Oleh karena itu, fungsi rasio pitch diameter ini memiliki kesamaan dengan roda gigi. Seringkali diperoleh efisiensi yang lebih baik, dengan menaikkan rasio pitch diameter. Pengembangan lanjutan dari *Gawn Series* adalah *KCA Series* yang biasa disebut dengan *Gawn-Burril Series* yang menyediakan data yang berharga untuk pengembangan desain kapal cepat atau kapal perang.

Menurut Huda (2011), Dengan semakin besar variasi sudut skew maka nilai thrust dan torsi propeller sama-sama akan semakin kecil. Itu berarti *symmetrical blade propeller* yang memiliki sudut skew sebesar $0^o$ cocok digunakan pada kapal cepat karena kapal cepat membutuhkan nilai thrust dan torsi yang besar.



**Gambar 2.5 Symmetrical Blade Propeller (Indiaryanto, 2017)**

Menurut Indiaryanto (2017), propeller type B-series ini dirasa kurang cocok di gunakan sebagai propulsor kapal patroli karena pada dasarnya penggunaan propeller B-series ini di gunakan untuk kapal – kapal niaga dimana *Froude number* yang digunakan dibawah 0.4. selain RPM propellerya mesin yang di butuhkan dengan propeller ini dianggap terlalu besar. Dengan kata lain effisiensi propeller yang dihasilkan kurang, sehingga menyebabkan kebutuhan mesin menjadi besar.

### 2.2.2. *Computational Fluid Dynamics*

Menurut Kundu dan Cohen (2008), *Computational Fluid Dynamics* (CFD) adalah salah satu bidang dalam ilmu sains, yang dengan bantuan komputer, dapat memberikan prediksi kuantitatif mengenai aliran suatu fluida berdasarkan hukum-hukum kekekalan (kekekalan massa, momentum, dan energi). Prediksi tersebut didapatkan karena adanya definisi mengenai

geometri aliran, sifat fisik, serta *boundary* dan *initial conditions* dari fluida yang diuji. Hasil prediksi yang muncul biasanya berupa nilai yang berkaitan dengan aliran fluida tersebut seperti, kecepatan, tekanan, dan temperatur aliran fluida pada daerah tertentu.

Perhitungan CFD menggunakan metode *Reynolds-averaged Navier-Stokes* untuk menyelesaikan karakteristik kekentalan aliran. Persamaan massa dan momentum dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \tag{19}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\mu\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3}\delta_{ij}\frac{\partial u_i}{\partial x_j}\right)\right] + \frac{\partial}{\partial x_j}(\overline{-\rho u'_i u'_j}) \tag{20}$$

Dimana $\overline{-\rho u'_i u'_j}$ adalah *Reynold stresses.*

Model Turbulensi yang digunakan adalah EASM (*Explicit Algebraic Stress Model*) berdasarkan *three-term basis*. Menurut Deng (2004), EASM merupakan *explicit solution* dari *algebraic stress model* (ASM). Persamaan EASM dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\overline{u_i u_j} = \frac{2}{3}k\delta_{ij} - 2v_t S_{ij} - 2v_t^* \frac{k}{\varepsilon}\alpha_2(S_{ik}W_{kj} + S_{jk}W_{ki}) + 4v_t^* \frac{k}{\varepsilon}\alpha_3(S_{ik}S_{kj} + \frac{1}{3}S_{kl}S_{kl}\delta_{ij}) \tag{21}$$

Dimana

$$v_t = \frac{C_\mu k^2}{C_m \varepsilon} \tag{22}$$

$$v_t^* = \frac{C_\mu^* k^2}{C_m \varepsilon} \tag{23}$$

$$C_\mu = \frac{3(1+n^2)+0.2(n^6+\mathrm{C}^6)}{3+n^2+6n^2\mathrm{C}^2+6\mathrm{C}^2+n^6+\mathrm{C}^6}\alpha_1 \tag{24}$$

$$C_\mu^* = \frac{3(1+n^2)}{3+n^2+6n^2\mathrm{C}^2+6\mathrm{C}^2+n^6+\mathrm{C}^6}\alpha_1 \tag{25}$$

$$n = \frac{\alpha_3 k}{\varepsilon}\sqrt{S_{ij}S_{ij}} \tag{26}$$

$$\mathrm{C} = \frac{\alpha_2 k}{\varepsilon}\sqrt{W_{ij}W_{ij}} \tag{27}$$

Dengan nilai koefisien $\alpha_1$= 0.113, $\alpha_2$= 0.186, $\alpha_3$= 0.0874 dan $C_m$= 0.93

Menurut Wibowo (2017), 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.

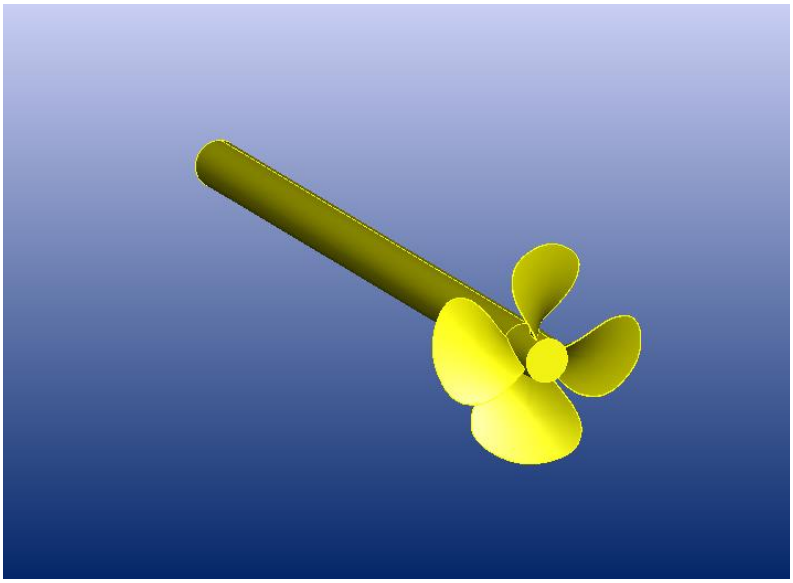
*Computational Fluid Dymanics* terdiri dari tiga elemen utama yaitu :

1. *Pre Processor*
2. *Solver Manager*
3. *Post Processor*

Langkah simulasi numerik yang berbasis *Computational Fluid Dynamics* menggunakan Numeca FineMarine. Secara garis besar langkah – langkah simulasi numerik pada solver ini dibagi menjadi beberapa tahapan antara lain:

1. Geometri

Geometri merupakan langkah awal dimana pengecekan solid tidaknya model. Pada tahap ini juga dilakukan pembuatan domain fluida tempat pengujian (*Boundary Building*).

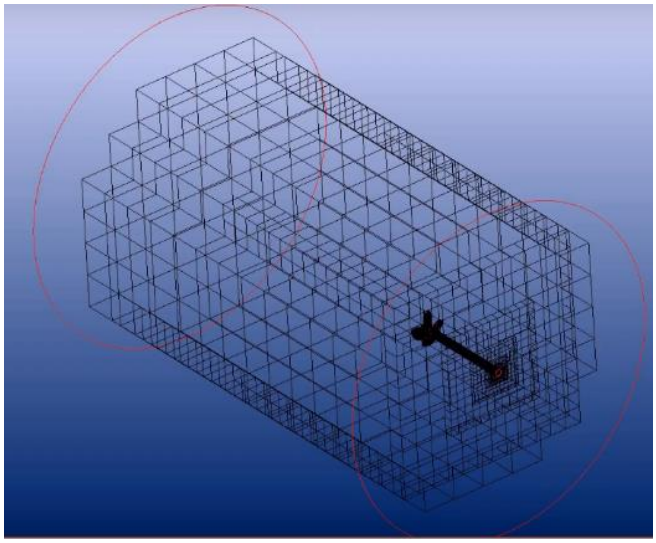


**Gambar 2.6 Tahap Geometri**

2. Mesh

Setelah domain fluida terbentuk langkah selanjutnya adalah melakukan meshing pada model. Untuk itu terlebih dahulu menentukan ukuran element yang akan kita gunakan. Namun perlu diingat bahwa semakin kecil elemen yang dibuat, maka jumlah elemen yang terbentuk

semakin banyak sehingga waktu *running* akan semakin lama dan menghasilkan kapasitas file yang besar.



**Gambar 2.7 Tahap Mesh**

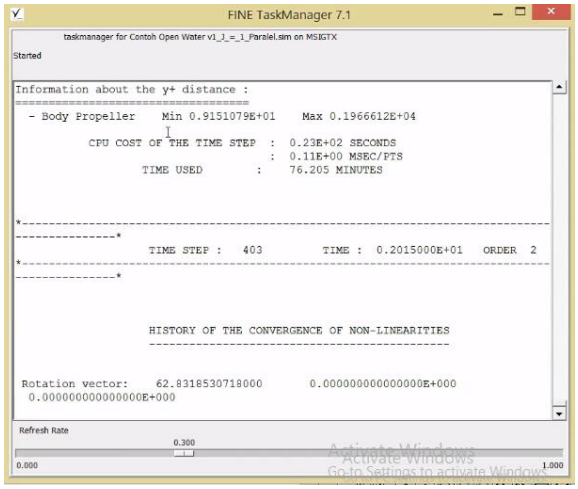
3. Setup

Setup adalah tahapan yang dilakukan setelah mesh berhasil dilakukan. Setup yang diguuntuk memvalidasi hasil uji coba *propeller* dengan CFD dan perhitungan manual yang kemudian akan diadopsi untuk pengujian.

**Gambar 2.8 Setup Open Water Test menggunakan Numeca FINE Marine**

4. Solution

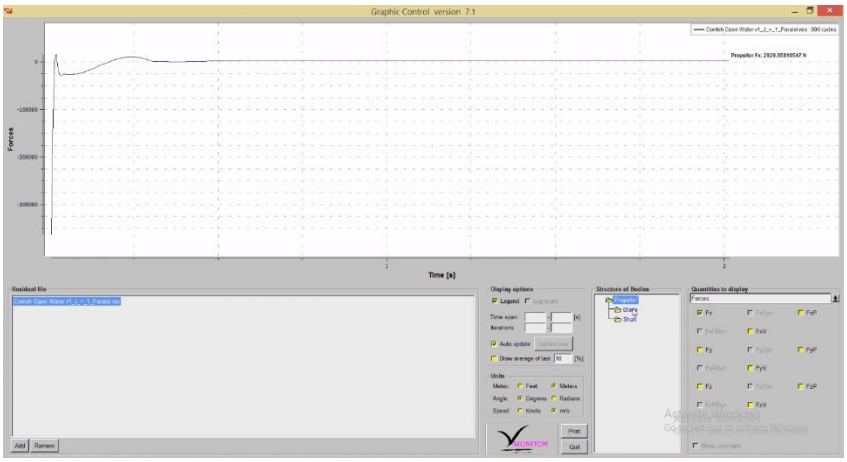
Setelah setup selesai dilakukan, tahap selanjutnya adalah solution. Dalam tahap ini proses perhitungan (*running*) dilakukan berupa iterasi dari persamaan dasar dinamika fluida pada CFD.




**Gambar 2.9 Running CFD menggunakan Numeca FINE Marine**

5. Result

Setelah proses running atau simulasi selesai maka hasilnya dapat kita lihat di tahap solution. Pada tugas akhir ini hasil yang diinginkan berupa nilai thrust dan torsi pada propeller, model dan visualisasi aliran.




**Gambar 2.10 Result CFD menggunakan Numeca FINE Marine**

# BAB 3
# METODOLOGI

## 3.1. Bagan Alir

**Gambar 3.1 Diagram Alir Penyusunan Tugas Akhir**

## 3.2. Tahapan Penelitian

Secara garis besar, penyusunan Tugas Akhir ini dibagi menjadi beberapa tahapan yaitu

### 3.2.1. Studi Literatur

Pada tahap ini penulis mencari sumber informasi mengenai materi yang berkaitan dengan penelitian yang akan di lakukan. Informasi tersebut dapat diambil dari berbagai sumber seperti buku, jurnal ilmiah, pendapat ahli, ataupun dari penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya.

### 3.2.2. Perumusan Masalah

Setelah dilakukan studi literatur mengenai topik penelitian yang akan dilakukan, dapat dirumuskan masalah-masalah yang akan diselesaikan melalui penelitian tersebut.

### 3.2.3. Perumusan Hipotesis

Hipotesis adalah anggapan awal atau jawaban sementara mengenai masalah yang akan diselesaikan dalam penelitian. Hipotesis dibuat berdasarkan studi literatur dan perumusan masalah yang sudah dilakukan sebelumnya. Hasil akhir penelitian, nantinya akan membuktikan benar atau tidaknya hipotesis yang telah dibuat.

### 3.2.4. Pengumpulan Data

Data kapal sangat diperlukan pada penelitian ini. Data uji hambatan Kapal Patroli 60m dibutuhkan untuk menghitung *Engine Propeller Matching* dan data open water test *symmetrical blade propeller* berguna sebagai data pembanding pada penelitian ini.

### 3.2.5. Pembuatan 3D Model

Pembuatan 3D model dari *Symmetrical Blade Propeller* dan *B Series Propeller* dapat dilakukan dengan menggunakan *software* PropCad. Dimana model dibuat berdasarkan data ukuran utama *propeller* yang didapatkan dari Balai Teknologi Hidrodinamika (BTH).

### 3.2.6. Konversi Model Untuk CFD

3D Model *propeller* yang telah dibuat harus dikonversi ke *parasolid* terlebih dahulu sebelum di *import* ke dalam *sofware* Numeca FineMarine, yang selanjutnya akan dilakukan simulasi CFD.

### 3.2.7. *Running* CFD Tiap Model Dengan Variasi Nilai J

Model yang sudah dikonversi ke dalam *software* Numeca FineMarine kemudian di-*running* dengan menggunakan variasi nilai J yang sudah ditentukan.

### 3.2.8. Plot Diagram $K_T$-$K_Q$-J

Pada tahap ini, hasil nilai *thrust* dan *torque* yang keluar setelah running CFD pada model akan dibuat diagram $K_T$ - $K_Q$ – J, yang kemudian akan menjadi dasar perhitungan *Engine Propeller Matching.*

### 3.2.9. Menghitung *Engine Propeller Matching*

Setelah didapatkan diagram $K_T$-$K_Q$-J dari hasil *running* CFD, selanjutnya akan dilakukan perhitungan *Engine Propeller Matching* untuk menganalisa pengaruh *symmetrical blade propeller* terhadap *main engine* yang digunakan pada kapal patroli 60m. Serta membandingkan peforma dari *symmetrical blade propeller* dengan *b series propeller.*

### 3.2.10. Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini, hasil penelitian, evaluasi, maupun masukan yang didapatkan selama penelitian, dirangkum dan disimpulkan untuk pengembangan atau penelitian selanjutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

# BAB 4
# SIMULASI *OPEN WATER* DENGAN CFD

## 4.1. Simulasi *open water Symmetrical Blade Propeller*

Pada tahap awal penelitian ini adalah menghitung karakteristik dari *symmetrical blade propeller* dengan menggunakan metode simulasi CFD. Dalam metode CFD diawali dengan menggambar 3D model propeller yang nantinya akan dilakukan simulasi dengan menggunakan bantuan *software* Numeca FineMarine.

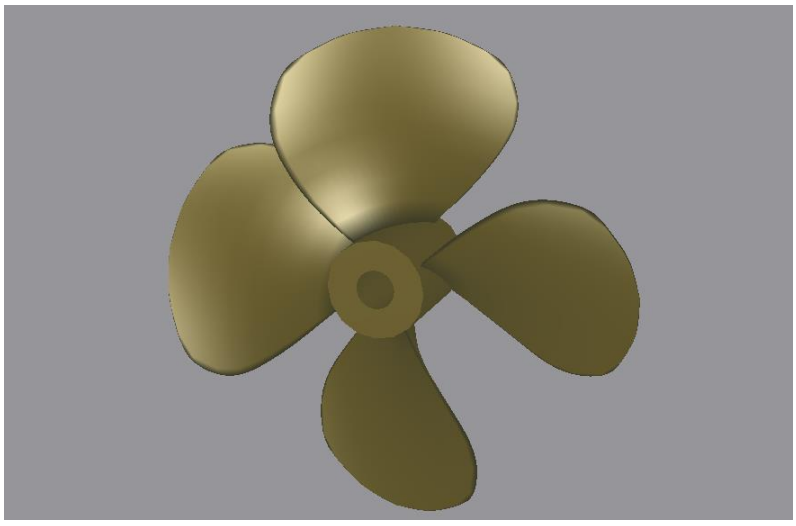
### 4.1.1. Pembuatan 3D Model *Symmetrical Blade Propeller*

Data yang digunakan untuk pembuatan 3D Model *symmetrical blade propeller* adalah ukuran utama dan desain *propeller* tersebut yang didapatkan dari BTH. Dari data ukuran utama tersebut, dapat dibuat 3D Model *symmetrical blade propeller* menggunakan bantuan *software PropCad.* Untuk data ukuran utama dan desain yang didapatkan dari BTH dapat dilihat pada tabel dan gambar dibawah ini

**Tabel 4.1 Ukuran Utama *Symmetrical Blade Propeller* dari BTH**

| | |
|---|---|
| Diameter | 1.75 m |
| P/D | 1.38 |
| Ae/Ao | 0.828 |
| Jumlah Daun | 4 daun |

Selanjutnya, 3D Model *symmetrical blade propeller* yang sudah dibuat diubah *format file* nya menjadi *Parasolid,* sehingga 3D model yang sudah dibuat dapat di-*import* ke *software* NUMECA FineMarine untuk nantinya dapat dilakukan proses simulasi.



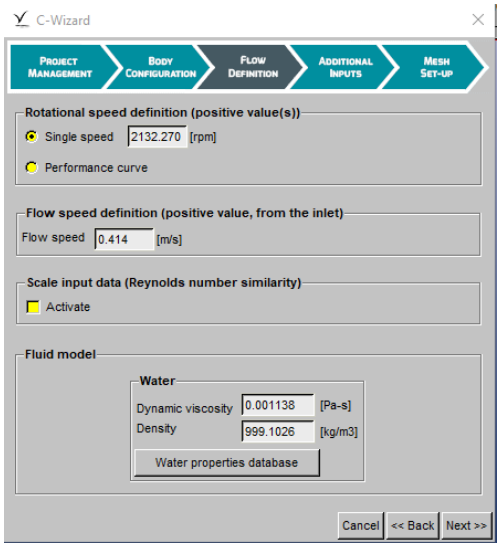
**Gambar 4.1 3D Model *Symmetrical Blade Propeller***

### 4.1.2. *Import* 3D Model *Symmetrical Blade Propeller* ke Numeca FineMarine

3D Model yang sudah dibuat sebelumnya lalu di *import* ke Numeca Fine Marine dengan menggunakan *C-Wizard* yang telah disediakan oleh *software* tersebut. Pada *setup C-Wizard* dipilih simulasi *open water* dengan satuan yang digunakan adalah *degree* untuk sudut, meter untuk panjang, m/s untuk kecepatan, dan rpm untuk kecepatan putaran. Setelah itu pada *tab* selanjutnya, 3D model yang telah dibuat dapat di *import* pada pilihan *input geometry*.

**Gambar 4.2 *Import* 3D Model dan *setup C-Wizard***

Setelah itu, dimasukkan juga data pendukung seperti rpm, Va dan jenis fluida yang digunakan seperti pada gambar 4.4. Jika *setup C-Wizard* selesai dilakukan, maka dapat dilanjutkan dengan pembuatan *mesh* dari 3D model yang telah di *import*.



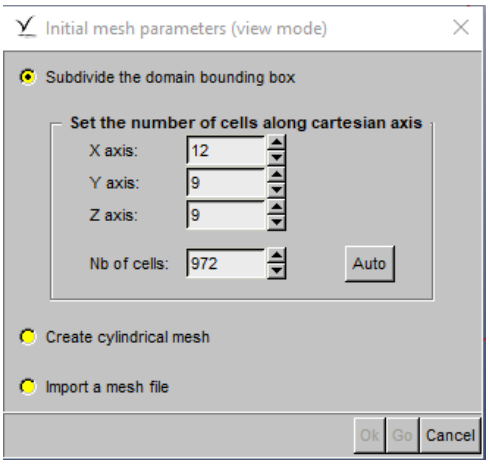

**Gambar 4.3 *input* rpm, Va, dan Jenis Fluida pada *C-Wizard***

### 4.1.3. Meshing 3D Model *Symmetrical Blade Propeller*

Proses pembuatan *mesh* dari 3D model *symmetrical Blade propeller* dilakukan pada HEXPRESS Numeca FineMarine. Pembuatan *mesh* pada *sofware* ini terdiri dari 5 tahap yaitu *initial mesh, adapt to geometry, snap to geometry, optimize,* dan *viscous layer.*

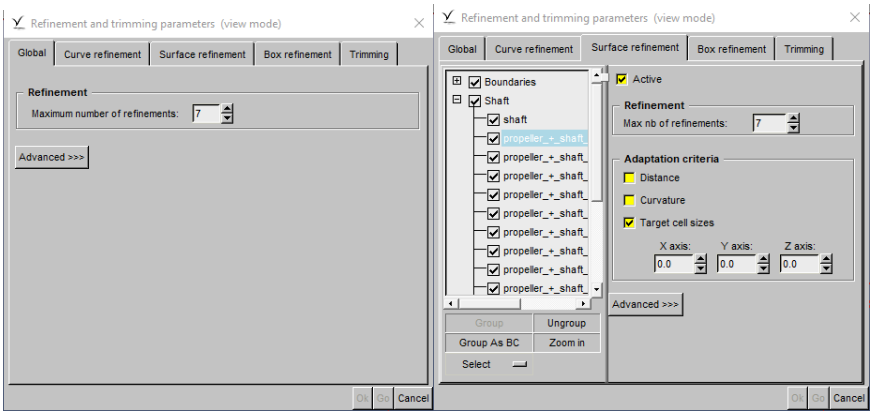
**Gambar 4.4 Tahap Pembuatan *mesh* pada Numeca FineMarine**

*Initial mesh* merupakan tahap awal dalam proses pembuatan *mesh* pada *software* HEXPRESS Numeca FineMarine, dimana dalam taham ini akan dilakukan pembuatan *structured mesh* pada *domain* sehingga ukuran *cell* akan memiliki ukuran yang sama seperti ditunjukan pada gambar 4.6. Pada tahap ini digunakan jumlah *cell* sebanyak 972.



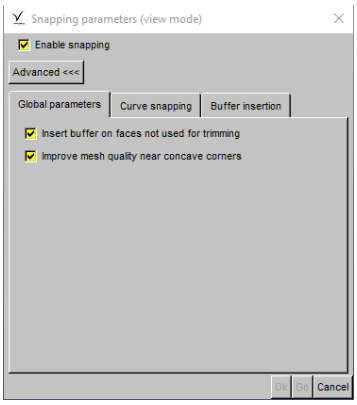

**Gambar 4.5 *Initial Mesh* Pada HEXPRESS Numeca FineMarine**

Proses selanjutnya adalah *adapt to geometry,* dimana pada tahap ini *software* HEXPRESS Numeca FineMarine akan memperkecil ukuran *cell* yang berada di sekitar 3D Model secara otomatis sehingga pada bagian tersebut, jumlah *cell* akan semakin banyak dan menyerupai bentuk 3D model agar hasil simulasi menjadi lebih akurat.



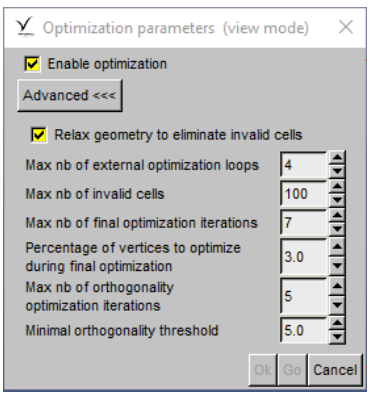

**Gambar 4.6 *Setting* yang Digunakan pada *Adapt to Geometry***

Seteah itu, dilakukan proses *snap to geometry* agar bentuk *mesh* yang sebelumnya masih kubuh benar – benar sesuai dengan bentuk 3D model.



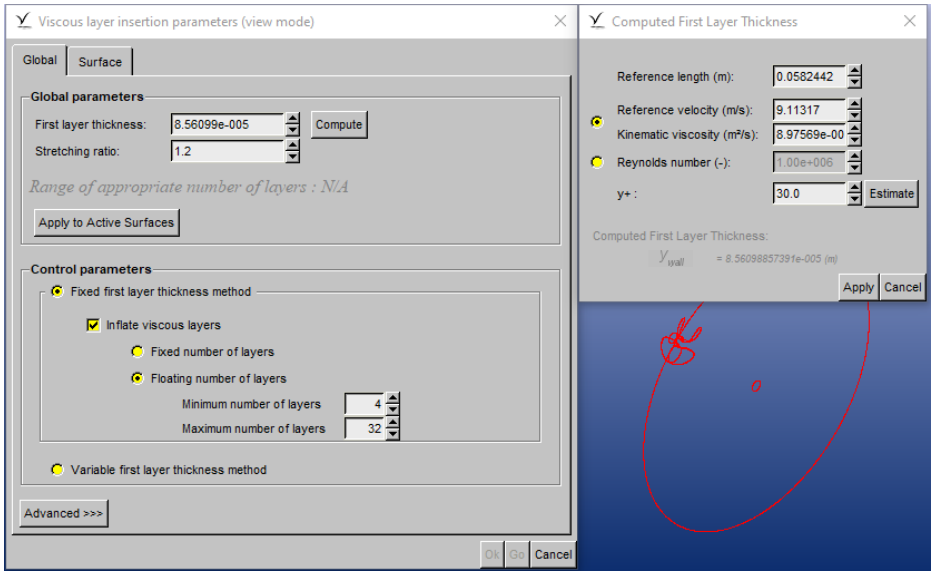

**Gambar 4.7 *Setting Snap to Geometry***

Selanjutnya masuk ke proses *optimize*, dimana pada tahap ini *mesh* yang sudah menyesuaikan bentuk 3D model akan di optimalkan sehingga tidak ada kecacatan pada *mesh* yang telah dihasilkan. Cacat *cell* yang dimaksud antara lain *concave cell*, *negative cell*, dan *twisted cell*. Apabila terdapat *cell* yang tidak bisa di optimalkan, maka proses ini akan gagal dan proses *meshing* harus diulang dari awal dengan menggunakan *setting* yang berbeda pada tahap sebelumnya.



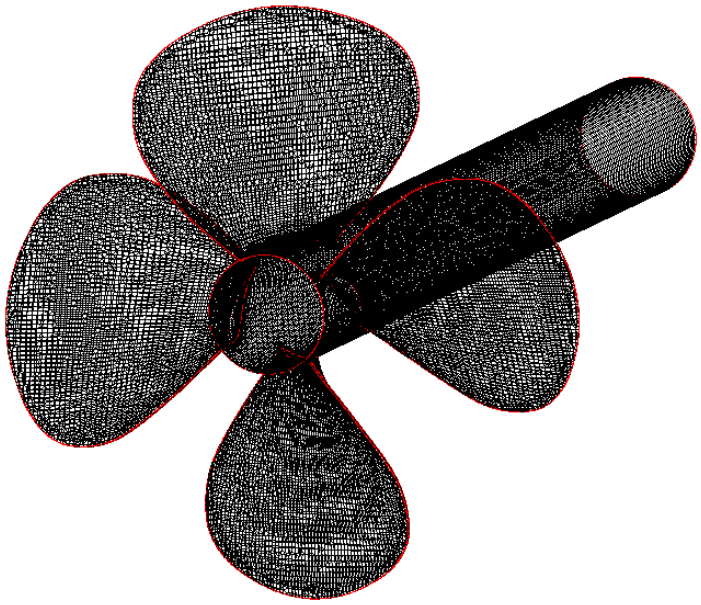

**Gambar 4.8 *Setting* Pada Tahap *Optimize***

Proses terakhir pada HEXPRESS Numeca FineMarine adalah *viscous layer* dimana pada proses ini akan ditambahkan *viscous layer* pada 3D model yang akan disimulasikan. *Viscous layer* ini berfungsi untuk mendapatkan karakteristik dan hasil aliran yang lebih akurat pada model yang disimulasikan.




**Gambar 4.9 *Setting* Pada Tahap *Viscous Layer***

Setelah semua proses diatas berhasil dan tidak ditemukan kecacatan *cell*, dapat dihasilkan jumlah *cell* yang digunakan pada 3D model *symmetrical blade propeller* ini adalah sekitar 2,3 juta. Berikut adalah *mesh* dari 3D model *symmetrical blade propeller*



**Gambar 4.10 Hasil *Mesh Symmetrical Blade Propeller***

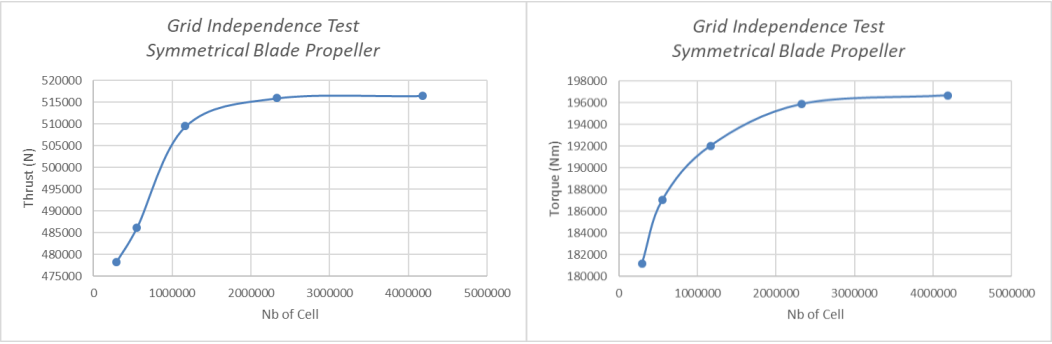
### 4.1.4. *Grid Independence Test Symmetrical Blade Propeller*

Setelah dilakukan proses *meshing* maka perlu dilakukan *grid independence test* untuk mengukur tingkat keakurasian dan tingkat rasionalitas dari *mesh* yang akan digunakan. *Grid independence* adalah hasil perhitungan dimana terjadi perubahan yang sangat sedikit bersamaan dengan bertambahnya jumlah *mesh* dalam suatu simulasi yang dilakukan. *Grid independence* sangat penting dalam simulasi numerik karena dapat secara langsung mempengaruhi hasil perhitungan numerik.

Pada simulasi ini, variabel yang ingin diketahui adalah besarnya nilai *thrust* dari 3D Model *symmetrical blade propeller* pada saat simulasi *open water*. Seiring bertambahnya jumlah *cell* yang digunakan maka nilai *thrust* akan menunjukkan hasil tertentu. Nilai *thrust* dibandingkan dengan setiap 2 kali kelipatan jumlah *cell* dari simulasi sebelumnya, apabila selisih nilai *thrust* yang dihasilkan kurang dari 2% maka jumlah *cell* tersebut dianggap telah akurat untuk dilakukan simulasi. Berikut tabel beserta grafik *grid independence test* dari 3D model *symmetrical blade propeller,* dengan jumlah *cell* awal berada pada sekitar 300.000 *cell* dengan jumlah *cell* maksimal berada pada sekitar 4.000.000 *cell. Grid independence test* ini dilakukan pada J = 0.1

**Tabel 4.2 *Grid Independence Test Symmetrical Blade Propeller***

| Symmetrical Blade Propeller J = 0.1 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Nb of Cell | Thrust (N) | Selisih | Torque (Nm) | Selisih |
| 292719 | 478288.8125 | - | 181151.0938 | - |
| 551003 | 486140.9063 | 1.6% | 187025.4063 | 3.1% |
| 1168192 | 509497.1875 | 4.6% | 192037.2031 | 2.6% |
| 2329008 | 515984 | 1.3% | 195864.2969 | 2.0% |
| 4182116 | 516524.5 | 0.1% | 196653.50 | 0.4% |

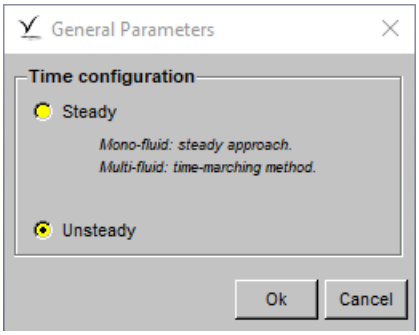



**Gambar 4.11 Grafik *Grid Independence Test Symmetrical Blade Propeller***

### 4.1.5. *Setup solver* simulasi *Symmetrical Blade Propeller*

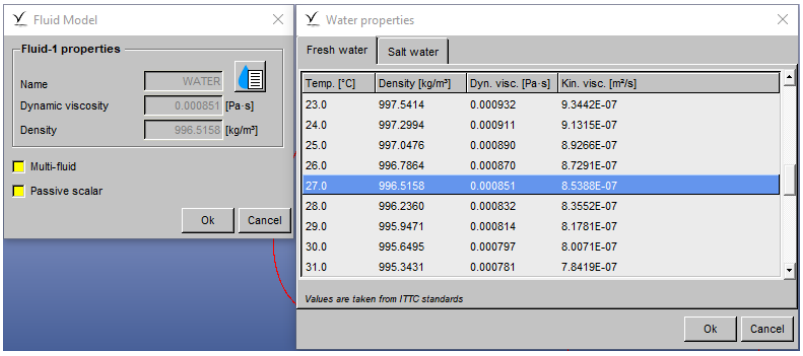
Setelah didapatkan *mesh* yang optimal pada 3D model *symmetrical blade propeller* pada *software* HEXPRESS, selanjutnya dilakukan *setup solver* pada Numeca Fine Marine agar dapat dihasilkan hasil simulasi yang benar.

Pada *setup solver* di Numeca FineMarine diawali dengan *general parameter* dimana *time configuration* yang digunakan adalah un*steady*.



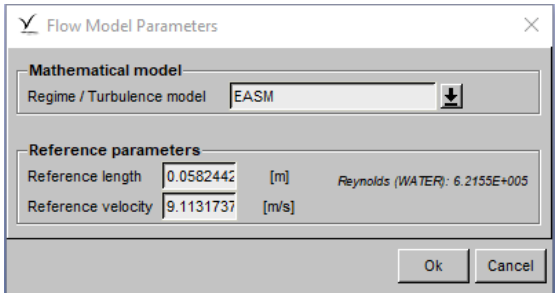

**Gambar 4.12 *Setting* yang digunakan pada *General Parameter***

Selanjutnya masuk ke *fluid model* untuk menentukan jenis fluida yang digunakan, dimana pada *setup* ini dipilih 27ºC *fresh water* dengan *dynamic viscosity* sebesar 0.000851 Pa.s dan *density* sebesar 996.5158 kg/m$^3$



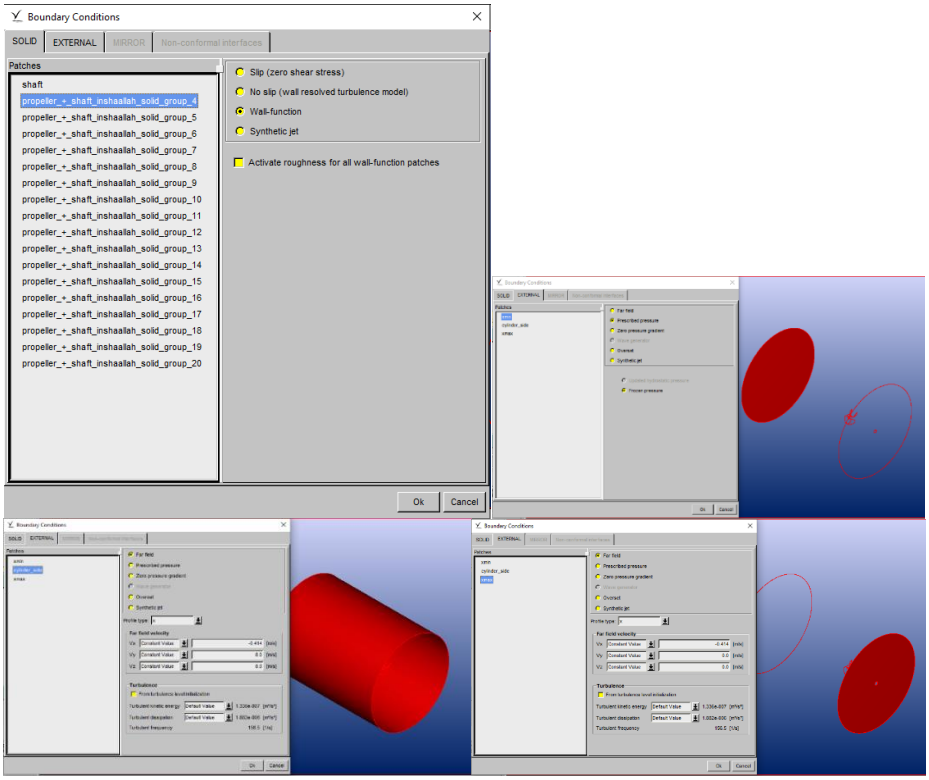

**Gambar 4.13 *Setting yang digunakan pada Fluid Model***

Setelah itu, pada *flow model* yang digunakan adalah model turbulensi EASM (*Explicit Algeblraic Stress Model*) karena ini merupakan simulasi *open water* dimana diperlukan *turbulence rotation correction* dan direkomendasikan oleh *User Manual* Numeca FineMarine.



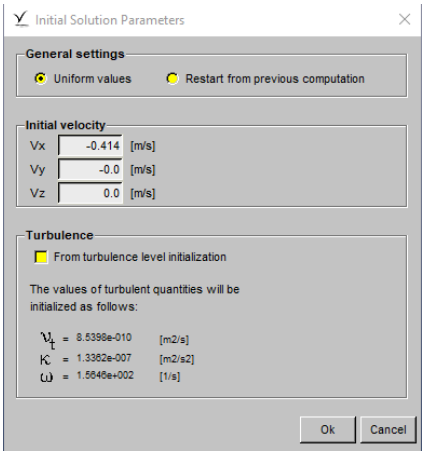

**Gambar 4.14 *Setting Flow Model***

Untuk *boundary condition* pada model yang digunakan adalah *wall-function* kemudian pada *outlet* dipilih *prescribe preasure*, serta *inlet* dan *wall* dipilih *far field* dan dimasukkan juga nilai Va sesuai dengan nilai J yang akan disimulasikan. Sedangkan untuk ukuran domain yang digunakan berdasarkan rekomendasi yang diberikan oleh ITTC dinyatakan sebagai perkalian dari diameter (D) propeller. Batas *inlet* ditempatkan setidaknya 2D , dan batas *outlet* ditempatkan 4D atau lebih dari pusat propeller. Batas luar dalam arah radial ditempatkan pada 4D atau lebih besar. Batas domain harus ditempatkan cukup jauh dari blade untuk memastikan aliran masuk yang seragam ke hulu propeller dan menghindari pantulan dari hilir propeller.




**Gambar 4.15 *Setting* yang digunakan pada *Boundary Condition***

Pada *body motion* dan *mesh management* menggunakan *setup default* dari *sofware*, selanjutnya pada *initial solitution* perlu diatur nilai Va sesuai dengan nilai J yang akan disimulasikan.




**Gambar 4.16 *Setup Initial Solution***

Setelah selesai dilakukan *setup solver* pada Numeca FineMarine, selanjutnya dapat dilakukan proses simulasi dengan menekan *start solver* dan hasilnya berupa nilai *thrust* dan *torque* dapat dilihat pada *start monitor* serta dapat dilihan juga bentuk aliran yang dihasilkan pada CFView.

## 4.2. Simulasi *Open Water B Series Propeller*

Simulasi *open water* pada *B Series propeller* dilakukan untuk membandingkan peforma *symmetrical blade propeller* dengan *B series propeller*. Dalam melakukan simulasi *open water* dengan metode CFD diawali dengan menggambar 3D model propeller yang nantinya akan dilakukan simulasi dengan menggunakan bantuan *software* Numeca FineMarine.

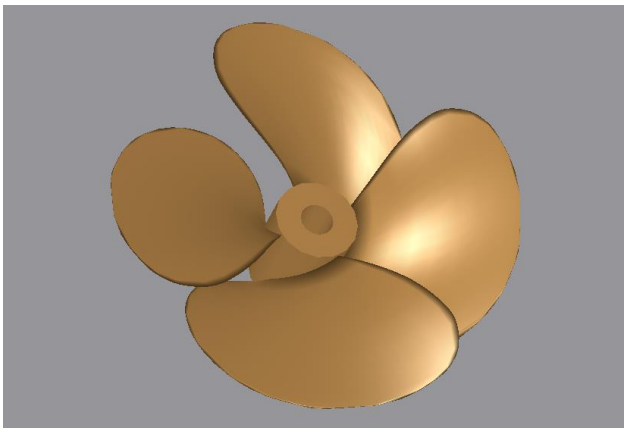
### 4.2.1. Pembuatan 3D Model *B Series Propeller*

Pada pembuatann 3D model *B Series propeller*, variabel yang perlu disamakan dengan *symmetrical blade propeller* adalah diameter propeller yaitu sebesar 1.75m. Data yang digunakan untuk pembuatan 3D Model *B Series propeller* adalah ukuran utama dari *propeller* tersebut yang didapatkan dari BTH. Untuk data ukuran utama didapatkan dari BTH dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.17

**Tabel 4.3 Ukuran Utama *B Series Propeller***

| | |
|---|---|
| Diameter | 1.75 m |
| P/D | 0.939 |
| Ae/Ao | 1.064 |
| Jumlah Daun | 4 daun |

Dari data ukuran utama tersebut, dapat dibuat 3D Model *B series propeller* menggunakan bantuan *software PropCad.* Untuk 3D model *B series propeller* dapat dilihat pada gambar 4.17 dibawah ini

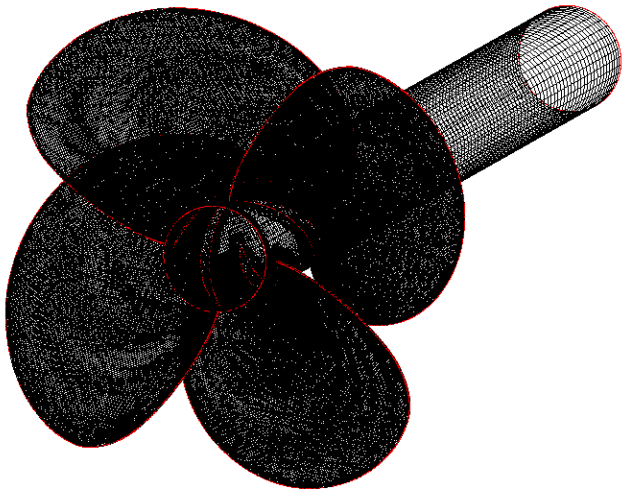


**Gambar 4.17 3D Model *B Series Propeller***

Selanjutnya, 3D Model *B series propeller* yang sudah dibuat diubah *format file* nya menjadi *Parasolid,* sehingga 3D model yang sudah dibuat dapat di-*import* ke *software* NUMECA FineMarine dengan cara yang sama seperti *symmetrical blade propeller* untuk nantinya dapat dilakukan proses simulasi.

### 4.2.2. *Meshing* 3D Model *B Series Propeller*

Pada proses *meshing* 3D model *B series propeller* dilakukan pada *software* HEXPRESS Numeca FineMarine. Dengan cara yang sama seperti proses *meshing* pada *symetrical blade propeller* dapat dihasilkan jumlah *cell* pada 3D Model *B Series propeller* sekitar 2 juta *cell.*



**Gambar 4.18 Hasil *Mesh B Series Propeller***

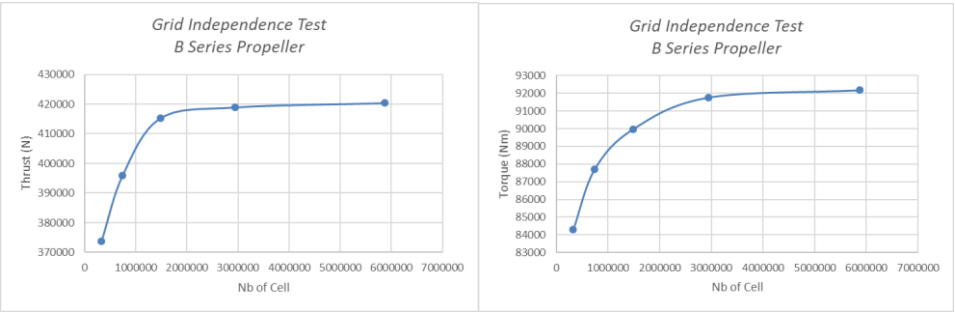
### 4.2.3. *Grid Independence Test B Series Propeller*

Setelah dilakukan proses *meshing* pada 3D model *B series propeller* maka perlu dilakukan *grid independence test* untuk mengukur tingkat keakurasian dan tingkat rasionalitas dari *mesh* yang akan digunakan.

Pada simulasi ini, variabel yang ingin diketahui adalah besarnya nilai *thrust* dari 3D Model *B series propeller* pada saat simulasi *open water*. Seiring bertambahnya jumlah *cell* yang digunakan maka nilai *thrust* akan menunjukkan hasil tertentu. Nilai *thrust* dibandingkan dengan setiap 2 kali kelipatan jumlah *cell* dari simulasi sebelumnya, apabila selisih nilai *thrust* yang dihasilkan kurang dari 2% maka jumlah *cell* tersebut dianggap telah akurat untuk dilakukan simulasi. Berikut tabel beserta grafik *grid independence test* dari 3D model *B series propeller*, dengan jumlah *cell* awal berada pada sekitar 300.000 *cell* dengan jumlah *cell* maksimal berada pada sekitar 4.000.000 *cell. Grid independence test* ini dilakukan pada J = 0.1

**Tabel 4.4 *Grid Independence B Series Propeller***

| B Series J = 0.1 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Nb of Cell | Thrust (N) | Selisih | Torque (Nm) | Selisih |
| 324998 | 373778 | - | 84285.5 | - |
| 737960 | 395934.6875 | 5.6% | 87699.71875 | 3.9% |
| 1478753 | 415198.0938 | 4.6% | 89969.60938 | 2.5% |
| 2936767 | 418880.5938 | 0.9% | 91763.75 | 2.0% |
| 5873534 | 420339 | 0.3% | 92179.99219 | 0.5% |




**Gambar 4.19 Grafik *Grid Independence Test B Series Propeller***

### 4.2.4. *Setup solver* simulasi *B Series Propeller*

Setelah didapatkan *mesh* yang optimal pada 3D model *B Series Propeller* pada *software* HEXPRESS, selanjutnya dilakukan *setup solver* pada Numeca Fine Marine agar dapat dihasilkan hasil simulasi yang benar. Dengan metode yang sama dengan *setup solver* pada *symmetrical blade propeller*, selanjutnya dapat dilakukan proses simulasi dengan menekan *start solver* dan hasilnya berupa nilai *thrust* dan *torque* dapat dilihat pada *start monitor* serta dapat dilihan juga bentuk aliran yang dihasilkan pada CFView.

Halaman ini sengaja dikosongkan

# BAB 5
# HASIL DAN PEMBAHASAN

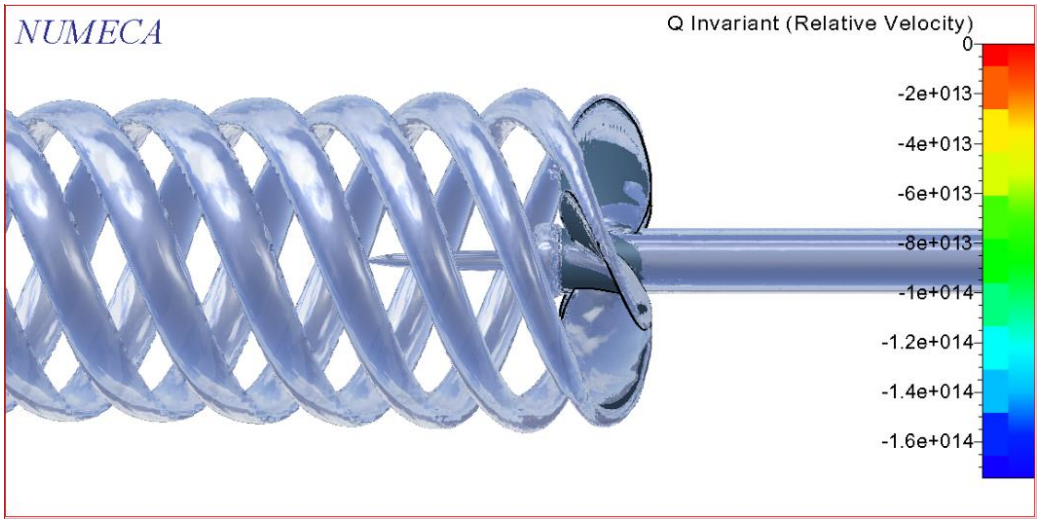
## 5.1. Hasil Simulasi CFD *Symmetrical Blade Propeller*

Setelah dilakukan simulasi dengan variasi nilai J = 0.1 sampai J = 1.2, maka didapatkan nilai *thrust* dan *torque* seperti pada Tabel 5.1

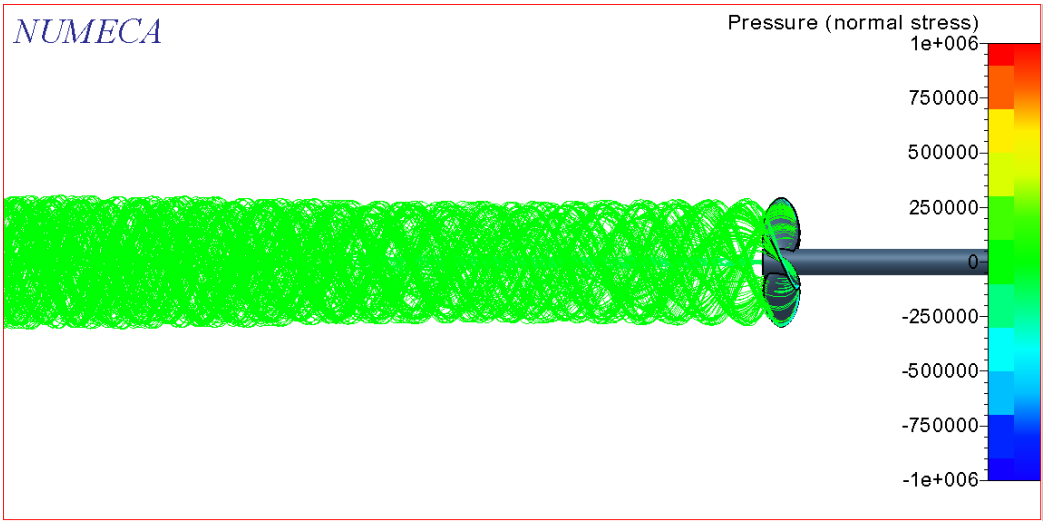
**Tabel 5.1 Hasil Simulasi *Symmetrical Blade Propeller***

| No | Speed (knot) | Speed (m/s) | Rps | J | Thrust CFD (N) | Torque CFD (Nm) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3.1 | 1.604 | 9.167 | 0.100 | 515984.00 | 195864.30 |
| 2 | 6.2 | 3.208 | 9.167 | 0.200 | 481667.09 | 183513.91 |
| 3 | 9.4 | 4.813 | 9.167 | 0.300 | 449558.69 | 172644.50 |
| 4 | 12.5 | 6.417 | 9.167 | 0.400 | 413974.00 | 160370.70 |
| 5 | 15.6 | 8.021 | 9.167 | 0.500 | 374430.41 | 146633.50 |
| 6 | 18.7 | 9.625 | 9.167 | 0.600 | 334471.91 | 132734.59 |
| 7 | 21.8 | 11.229 | 9.167 | 0.700 | 293795.41 | 118616.30 |
| 8 | 24.9 | 12.833 | 9.167 | 0.800 | 247875.50 | 102771.80 |
| 9 | 28.1 | 14.438 | 9.167 | 0.900 | 202981.20 | 87272.37 |
| 10 | 31.2 | 16.042 | 9.167 | 1.000 | 164615.20 | 74076.49 |
| 11 | 34.3 | 17.646 | 9.167 | 1.100 | 124811.90 | 62115.90 |
| 12 | 37.4 | 19.250 | 9.167 | 1.200 | 81223.96 | 51090.67 |

Dari simulasi yang telah dilakukan dapat dihasilkan visualisasi aliran dari *symmetrical blade propeller* yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini.




**Gambar 5.1 Visualisasi Aliran *Symmetrical Blade Propeller* pada J=0.9**




**Gambar 5.2 *Streamline Symmetrical Blade Propeller* pada J=0.9**

Dari Gambar 5.2 dapat dilihat bahwa tekanan pada *leading edge* lebih kecil dibandingkan dengan *trailing edge* karena kecepatan aliran fluida pada *leading edge* lebih tinggi daripada kecepatan aliran fluida pada *trailing edge.* Tekanan pada *propeller* ini berpengaruh pada besarnya kavitasi dimana semakin rendah nilai tekanan maka akan semakin naik juga kavitasi pada propeller.

### 5.1.1. Validasi Hasil Simulasi *Simmetrical Blade Propeller*

Validasi untuk hasil simulasi yang dilakukan pada *symmetrical blade propeller* dilakukan dengan cara membandingkan dengan data uji *open water test* yang dilakukan oleh BTH. Hasil simulasi yang telah dikomparasi dengan data uji *open water test* dapat dilihat pada tabel dibawah ini

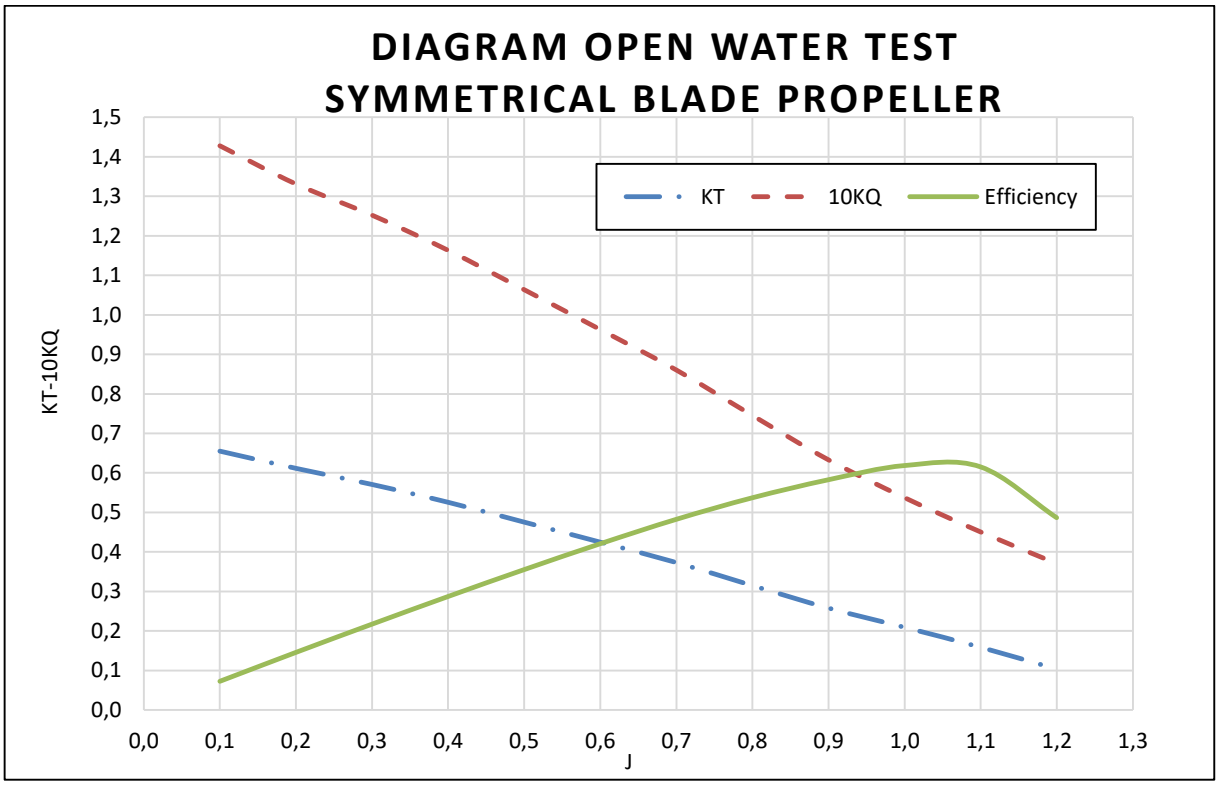
**Tabel 5.2 Validasi Hasil Simulasi CFD dengan Data Uji *Open Water Test***

| J | Open Water Test | | | CFD | | | Selisih | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | KT | 10KQ | Effisiensi | KT | 10KQ | Effisiensi | KT | 10KQ |
| 0.1 | 0.66 | 1.32 | 0.08 | 0.65 | 1.42 | 0.07 | 0.1% | -7.7% |
| 0.2 | 0.61 | 1.23 | 0.16 | 0.61 | 1.33 | 0.15 | 0.1% | -8.4% |
| 0.3 | 0.57 | 1.15 | 0.24 | 0.57 | 1.25 | 0.22 | 0.5% | -8.4% |
| 0.4 | 0.52 | 1.07 | 0.31 | 0.53 | 1.16 | 0.29 | -1.4% | -8.6% |
| 0.5 | 0.47 | 0.97 | 0.39 | 0.48 | 1.06 | 0.36 | -0.4% | -9.8% |
| 0.6 | 0.43 | 0.88 | 0.47 | 0.42 | 0.96 | 0.42 | 1.1% | -9.5% |
| 0.7 | 0.36 | 0.78 | 0.52 | 0.37 | 0.86 | 0.48 | -2.6% | -9.9% |
| 0.8 | 0.30 | 0.68 | 0.57 | 0.31 | 0.75 | 0.54 | -3.5% | -9.7% |
| 0.9 | 0.25 | 0.59 | 0.60 | 0.26 | 0.63 | 0.58 | -4.0% | -7.9% |
| 1.0 | 0.20 | 0.54 | 0.60 | 0.21 | 0.54 | 0.62 | -3.4% | 0.1% |
| 1.1 | 0.15 | 0.48 | 0.53 | 0.16 | 0.45 | 0.62 | -9.2% | 5.9% |
| 1.2 | 0.10 | 0.41 | 0.44 | 0.10 | 0.37 | 0.49 | -8.3% | 9.6% |

Dari hasil simulasi *symmetrical blade propeller* diatas dapat disimpulkan bahwa dengan metode CFD dapat digunakan untuk menghitung *thrust* dan *torque* pada *propeller* dengan nilai selisih $K_T$, dan $10K_Q$ kurang dari 10% dengan data uji *open water test* dari BTH.

### 5.1.2. Plot Diagram $K_T$ – $K_Q$ – J *Symmetrical Blade Propeller*

Setelah didapatkan hasil simulasi CFD *symmetrical blade propeller* maka dapat dibuat diagram $K_T$ – $K_Q$ – J sesuai dengan nilai $K_T$ dan $10K_Q$ yang dihitung dari nilai *thrust* dan *torque* yang dihasilkan dari simulasi CFD. Diagram $K_T$ – $K_Q$ – J *symmetrical blade propeller* dapat dilihat pada gambar 5.3 dibawah ini




**Gambar 5.3 Diagram $K_T$ – $K_Q$ – J *Symmetrical Blade Propeller***

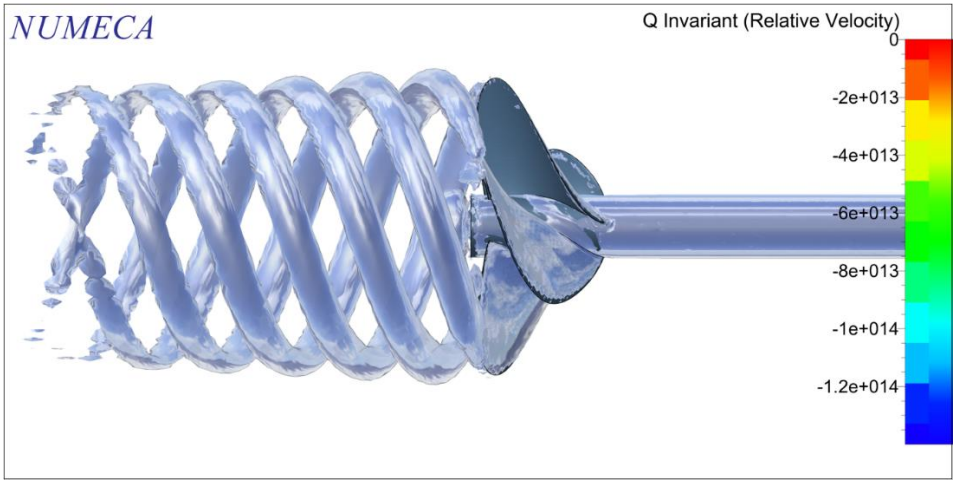
## 5.2. Hasil Simulasi CFD *B Series Propeller*

Setelah dilakukan simulasi dengan variasi nilai J = 0.1 sampai J = 1.2, maka didapatkan nilai *thrust* dan *torque* seperti pada Tabel 5.3

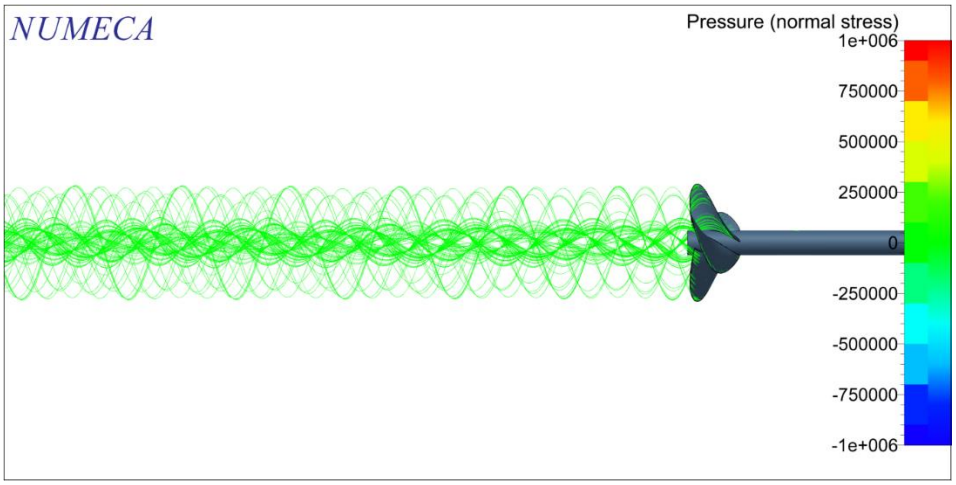
**Tabel 5.3 Hasil Simulasi *B Series Propeller***

| No | Speed (knot) | Speed (m/s) | Rps | J | Thrust CFD (N) | Torque CFD (Nm) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3.1 | 1.604 | 9.167 | 0.100 | 337890.41 | 91763.75 |
| 2 | 6.2 | 3.208 | 9.167 | 0.200 | 306882.00 | 83175.04 |
| 3 | 9.4 | 4.813 | 9.167 | 0.300 | 272660.31 | 74887.38 |
| 4 | 12.5 | 6.417 | 9.167 | 0.400 | 234593.50 | 65736.08 |
| 5 | 15.6 | 8.021 | 9.167 | 0.500 | 194443.80 | 56186.01 |
| 6 | 18.7 | 9.625 | 9.167 | 0.600 | 153194.20 | 46553.15 |
| 7 | 21.8 | 11.229 | 9.167 | 0.700 | 111193.90 | 37533.30 |
| 8 | 24.9 | 12.833 | 9.167 | 0.800 | 69754.38 | 27996.16 |
| 9 | 28.1 | 14.438 | 9.167 | 0.900 | 23197.63 | 16947.45 |
| 10 | 29.8 | 15.336 | 9.167 | 0.956 | -3756.66 | 12329.30 |

Dari simulasi yang telah dilakukan dapat dihasilkan visualisasi aliran dari *B series propeller* yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini.




**Gambar 5.4 Visualisasi Aliran *B Series Propeller* pada J = 0.9**




**Gambar 5.5 *Streamline B Series Propeller* pada J = 0.9**

### 5.2.1. Validasi Hasil Simulasi *B Series Propeller*

Validasi untuk hasil simulasi yang dilakukan pada *B series propeller* dilakukan dengan cara membandingkan dengan data uji *open water test* yang dilakukan oleh BTH. Hasil simulasi yang telah dikomparasi dengan data uji *open water test* dapat dilihat pada Tabel 5.4

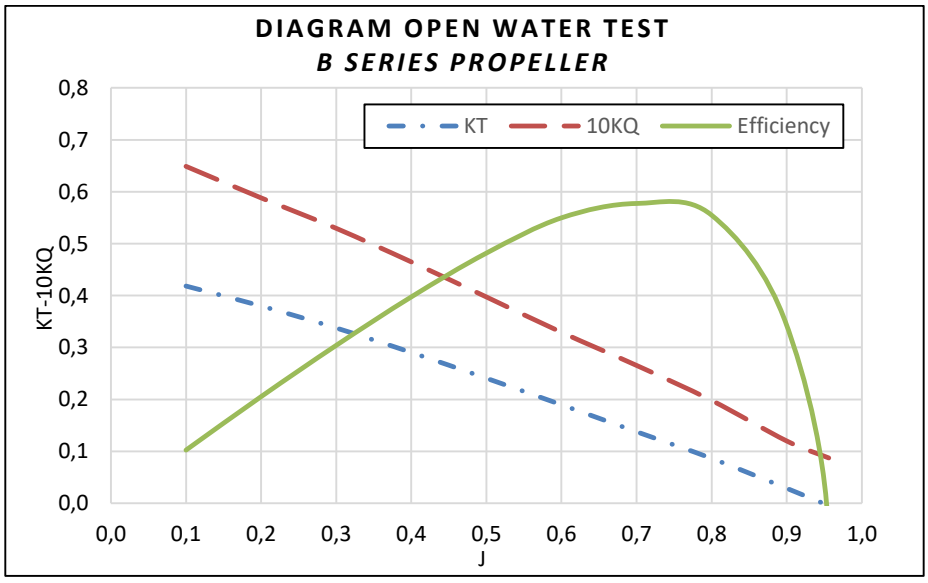
**Tabel 5.4 Validasi Hasil Simulasi CFD dengan Data Uji BTH**

| J | Data BTH | | | CFD | | | Selisih | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | KT | 10KQ | Effisiensi | KT | 10KQ | Effisiensi | KT | 10KQ |
| 0.1 | 0.43 | 0.63 | 0.11 | 0.42 | 0.65 | 0.10 | 3.4% | -3.3% |
| 0.2 | 0.39 | 0.57 | 0.22 | 0.38 | 0.59 | 0.21 | 2.4% | -2.3% |
| 0.3 | 0.34 | 0.52 | 0.32 | 0.34 | 0.53 | 0.30 | 1.5% | -2.7% |
| 0.4 | 0.29 | 0.45 | 0.41 | 0.29 | 0.47 | 0.40 | 1.0% | -2.9% |
| 0.5 | 0.24 | 0.38 | 0.50 | 0.24 | 0.40 | 0.48 | 0.5% | -3.2% |
| 0.6 | 0.19 | 0.32 | 0.57 | 0.19 | 0.33 | 0.55 | -0.2% | -3.8% |
| 0.7 | 0.14 | 0.25 | 0.61 | 0.14 | 0.27 | 0.58 | -1.4% | -6.0% |
| 0.8 | 0.08 | 0.18 | 0.57 | 0.09 | 0.20 | 0.56 | -4.9% | -6.9% |
| 0.9 | 0.03 | 0.12 | 0.34 | 0.03 | 0.12 | 0.34 | 1.3% | 2.6% |
| 0.96 | 0.00 | 0.09 | 0.00 | 0.00 | 0.09 | -0.08 | 0.5% | 4.3% |

Dari hasil simulasi *B series propeller* diatas dapat disimpulkan bahwa dengan metode CFD dapat digunakan untuk menghitung *thrust* dan *torque* pada *propeller* dengan nilai selisih $K_T$, dan $10K_Q$ kurang dari 10% dengan data dari BTH.

### 5.2.2. Plot Diagram $K_T$ – $K_Q$ – J *B Series Propeller*

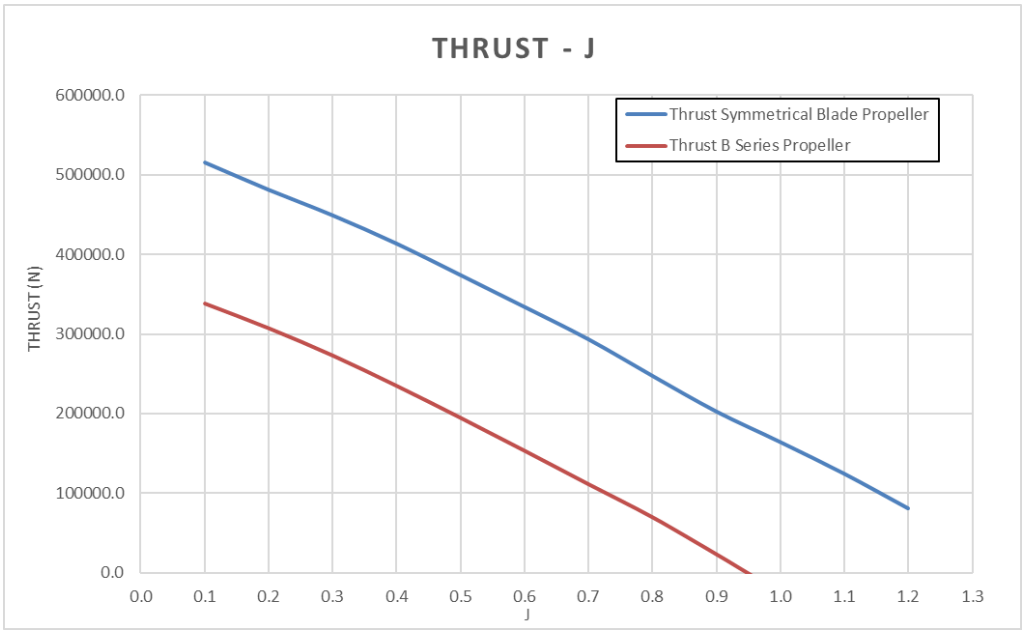
Setelah didapatkan hasil simulasi CFD pada *B series propeller* maka dapat dibuat diagram $K_T$ – $K_Q$ – J yang dapat dilihat pada gambar 5.6



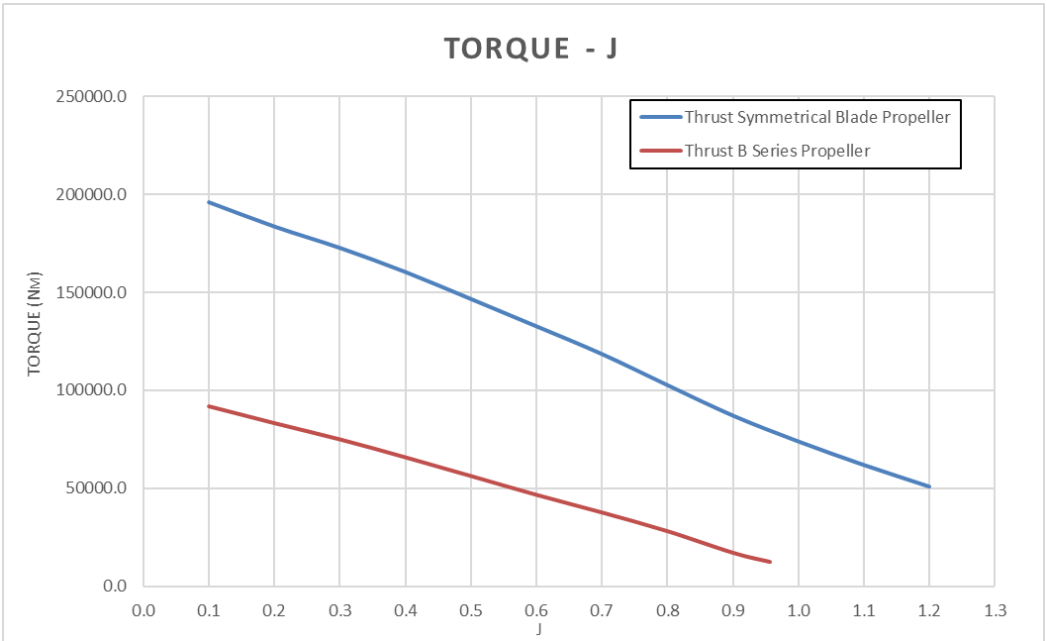

**Gambar 5.6 Diagram $K_T$ – $K_Q$ – J *B Series Propeller***

## 5.3. Perbandingan Simulasi *Symmetrical Blade Propeller* & *B Series Propeller*

Setelah Dilakukan simulasi CFD *Symmetrical Blade Propeller* & *B Series Propeller* maka didapatkan nilai *thrust* dan *torque* yang selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai $K_T$ dan nilai $K_Q$.




**Gambar 5.7 Grafik *Thrust – J Symmetrical Blade Propeller & B Series Propeller***




**Gambar 5.8 Grafik *Torque – J Symmetrical Blade Propeller & B Series Propeller***

Dapat dilihat pada Gambar 5.7 dan Gambar 5.8 bahwa *Symmetrical Blade Propeller* memiliki nilai *thrust* dan nilai *torque* yang lebih besar daripada *B Series Propeller.*

## 5.4. *Engine Propeller Matching*

Dalam melakukan perhitungan *Engine Propeller Matching* diperlukan data uji hambatan Kapal Patroli 60m yang didapatkan dari Balai Teknologi Hidrodinamika (BTH). Dimana telah ditentukan kapal dapat beroperasi pada kecepatan 25 knot. Hasil dari pengujian tahanan pada tiap kecepatan di BTH dapat dilihat pada Tabel 5.5

**Tabel 5.5 Data uji hambatan kapal patroli 60m**

| VS | Vm | Rm | Ctm | Cfm | Cres | CFs | CTS | FD | RS | PE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Knots | m/s | N | 10*5 | 10*5 | 10*5 | 10*5 | 10*5 | N | KN | |
| 21 | 2.787 | 57.72 | 779 | 291 | 409 | 161 | 677 | 7.55 | 175 | 1886 |
| 22 | 2.919 | 62.13 | 764 | 289 | 397 | 160 | 664 | 8.15 | 188 | 2126 |
| 23 | 3.052 | 66.59 | 749 | 287 | 385 | 160 | 651 | 8.76 | 201 | 2381 |
| 24 | 3.185 | 71.08 | 735 | 285 | 373 | 159 | 638 | 9.39 | 215 | 2651 |
| 25 | 3.317 | 75.56 | 720 | 283 | 360 | 158 | 624 | 10.04 | 228 | 2933 |
| 26 | 3.45 | 80.02 | 705 | 281 | 348 | 157 | 610 | 10.7 | 241 | 3227 |
| 27 | 3.583 | 84.38 | 689 | 279 | 334 | 156 | 596 | 11.38 | 254 | 3529 |
| 28 | 3.716 | 88.77 | 674 | 277 | 322 | 156 | 582 | 12.07 | 267 | 3845 |
| 29 | 3.848 | 93.01 | 658 | 276 | 308 | 155 | 568 | 12.78 | 279 | 4165 |
| 30 | 3.981 | 96.45 | 638 | 274 | 290 | 154 | 549 | 13.51 | 289 | 4455 |

Dari tabel uji hambatan tersebut, maka dapat dibuat $K_T$ desain dari kecepatan 21 knot sampai 30 knot dengan menggunakan (1), (2), dan (3) sebagai acuan dalam melakukan perhitungan Engine Propeller Matching.

$$\alpha : 0.5 \times \rho \times CT \times WSA \quad (1)$$

$$\beta : \alpha / (1-t)(1-w)^2 \rho D \quad (2)$$

$$KT : \beta \times J \quad (3)$$

**Tabel 5.6 Nilai α dan β**

| VS (Knot) | α | β |
|---|---|---|
| 21 | 1586.66 | 0.5834 |
| 22 | 1556.19 | 0.5722 |
| 23 | 1525.72 | 0.5610 |
| 24 | 1495.26 | 0.5498 |
| 25 | 1462.45 | 0.5377 |
| 26 | 1429.63 | 0.5257 |
| 27 | 1396.82 | 0.5136 |
| 28 | 1364.01 | 0.5015 |
| 29 | 1331.20 | 0.4895 |
| 30 | 1286.67 | 0.4731 |

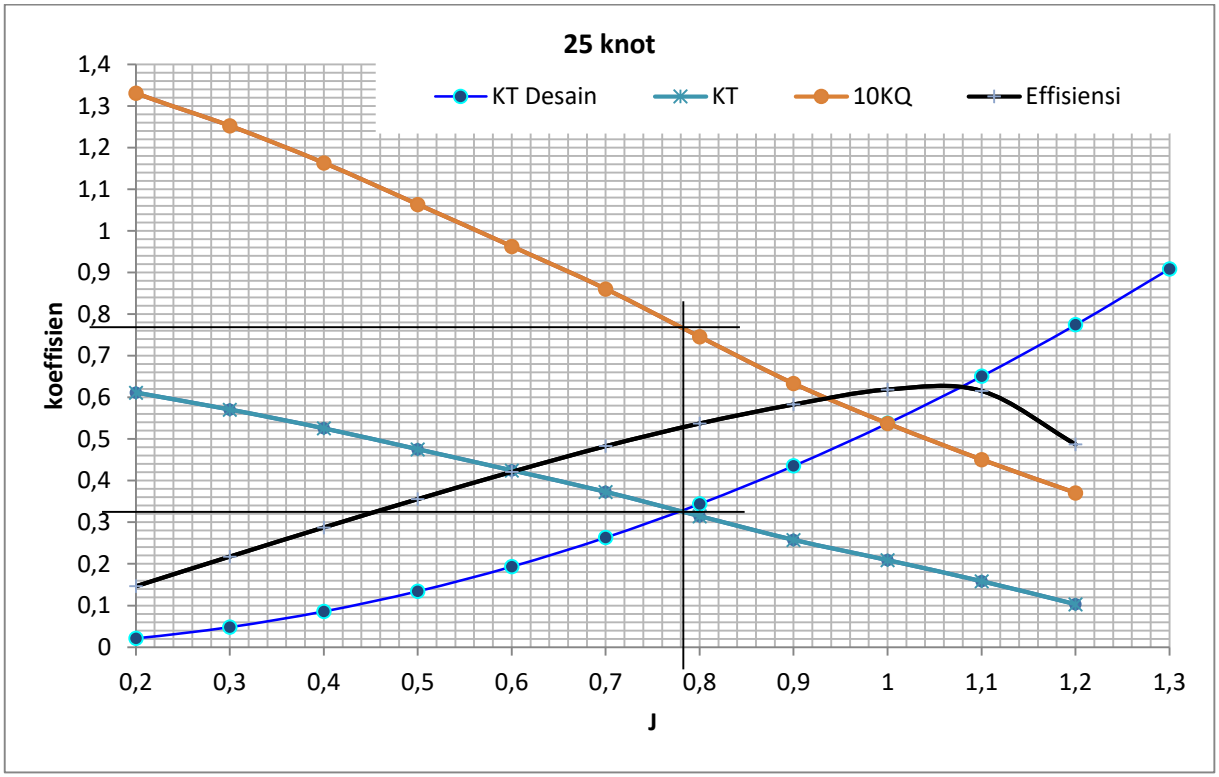
Dari Tabel 5.6, dapat dibuat tabel $K_T$ desain pada tiap kecepatan yang dapat dilihat pada Tabel 5.7

**Tabel 5.7 Perhitungan $K_T$ desain pada tiap kecepatan**

| | | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 Knot | 26 Knot | 27 Knot | 28 Knot | 29 Knot | 30 Knot |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| J | $J^2$ | KT | KT | KT | KT | KT | KT | KT | KT | KT | KT |
| 0.1 | 0.01 | 0.0058 | 0.0057 | 0.0056 | 0.0055 | 0.0054 | 0.0053 | 0.0051 | 0.0050 | 0.0049 | 0.0047 |
| 0.2 | 0.04 | 0.0233 | 0.0229 | 0.0224 | 0.0220 | 0.0215 | 0.0210 | 0.0205 | 0.0201 | 0.0196 | 0.0189 |
| 0.3 | 0.09 | 0.0525 | 0.0515 | 0.0505 | 0.0495 | 0.0484 | 0.0473 | 0.0462 | 0.0451 | 0.0441 | 0.0426 |
| 0.4 | 0.16 | 0.0933 | 0.0916 | 0.0898 | 0.0880 | 0.0860 | 0.0841 | 0.0822 | 0.0802 | 0.0783 | 0.0757 |
| 0.5 | 0.25 | 0.1458 | 0.1430 | 0.1402 | 0.1374 | 0.1344 | 0.1314 | 0.1284 | 0.1254 | 0.1224 | 0.1183 |
| 0.6 | 0.36 | 0.2100 | 0.2060 | 0.2020 | 0.1979 | 0.1936 | 0.1892 | 0.1849 | 0.1805 | 0.1762 | 0.1703 |
| 0.7 | 0.49 | 0.2859 | 0.2804 | 0.2749 | 0.2694 | 0.2635 | 0.2576 | 0.2517 | 0.2457 | 0.2398 | 0.2318 |
| 0.8 | 0.64 | 0.3734 | 0.3662 | 0.3590 | 0.3519 | 0.3441 | 0.3364 | 0.3287 | 0.3210 | 0.3133 | 0.3028 |
| 0.9 | 0.81 | 0.4725 | 0.4635 | 0.4544 | 0.4453 | 0.4356 | 0.4258 | 0.4160 | 0.4062 | 0.3965 | 0.3832 |
| 1 | 1 | 0.5834 | 0.5722 | 0.5610 | 0.5498 | 0.5377 | 0.5257 | 0.5136 | 0.5015 | 0.4895 | 0.4731 |
| 1.1 | 1.21 | 0.7059 | 0.6923 | 0.6788 | 0.6652 | 0.6506 | 0.6360 | 0.6214 | 0.6068 | 0.5922 | 0.5724 |
| 1.2 | 1.44 | 0.8401 | 0.8240 | 0.8078 | 0.7917 | 0.7743 | 0.7569 | 0.7396 | 0.7222 | 0.7048 | 0.6812 |
| 1.3 | 1.69 | 0.9859 | 0.9670 | 0.9481 | 0.9291 | 0.9087 | 0.8884 | 0.8680 | 0.8476 | 0.8272 | 0.7995 |

### 5.4.1. *Engine Propeller Matching Symmetrical Blade Propeller*

Dari data $K_T$ desain pada Tabel 5.7, dapat dibuat grafik pada tiap kecepatan dan di plotkan pada diagram open water *symmetrical blade propeller* yang telah dibuat.




**Gambar 5.9 Plot $K_T$ desain pada diagram *open water symmetrical blade propeller***

Dari hasil plot $K_T$ desain pada diagram open water seperti pada Gambar 5.9, dapat diketahui nilai J, $K_T$, dan $10K_Q$ pada perpotongan $K_T$ Desain nya. Pada kecepatan 25 knot dihasilkan nilai J 0.78, nilai $K_T$ 0.32 dan nilai $10K_Q$ 0.77. Setelah itu, dengan melakukan metode yang sama pada tiap kecepatan dapat dihitung nilai BHP-MCR sebagai acuan dalam pemilihan *main engine* seperti pada Tabel 5.8

**Tabel 5.8 Perhitungan nilai BHP**

| VS | Va | J | Nprop | KQ | Q | KT | T | DHP | SHP | BHP-CSR | BHP-MCR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Knots | | | Rpm | | Nm | | KN | KW | KW | KW | KW |
| 21 | 10.33 | 0.76 | 466 | 0.079 | 80.14 | 0.34 | 197.10 | 3908 | 3988 | 4069 | 4788 |
| 22 | 10.82 | 0.765 | 485 | 0.078 | 85.71 | 0.34 | 213.50 | 4350 | 4439 | 4530 | 5329 |
| 23 | 11.31 | 0.77 | 504 | 0.0779 | 92.35 | 0.33 | 223.55 | 4869 | 4968 | 5069 | 5964 |
| 24 | 11.80 | 0.775 | 522 | 0.0775 | 98.75 | 0.33 | 240.28 | 5397 | 5507 | 5620 | 6612 |
| 25 | 12.30 | 0.78 | 540 | 0.077 | 105.10 | 0.33 | 257.39 | 5945 | 6067 | 6190 | 7283 |
| 26 | 12.79 | 0.785 | 558 | 0.076 | 110.78 | 0.32 | 266.53 | 6475 | 6608 | 6743 | 7932 |
| 27 | 13.28 | 0.79 | 576 | 0.0759 | 117.80 | 0.32 | 283.80 | 7106 | 7251 | 7399 | 8704 |
| 28 | 13.77 | 0.795 | 594 | 0.075 | 123.62 | 0.32 | 301.39 | 7684 | 7841 | 8001 | 9413 |
| 29 | 14.26 | 0.8 | 611 | 0.074 | 129.20 | 0.31 | 309.29 | 8266 | 8435 | 8607 | 10126 |
| 30 | 14.75 | 0.81 | 625 | 0.073 | 133.05 | 0.31 | 322.87 | 8697 | 8875 | 9056 | 10654 |

Dari Tabel 5.8 dapat diketahui BHP-MCR pada kecepatan 25 knot sebesar 7283 KW yang dapat digunakan sebagai acuan dalam pemilihan mesin. Karena Kapal Patroli 60m menggunakan dua *main engine,* maka nilai BHP yang telah didapatkan akan dibagi dua.

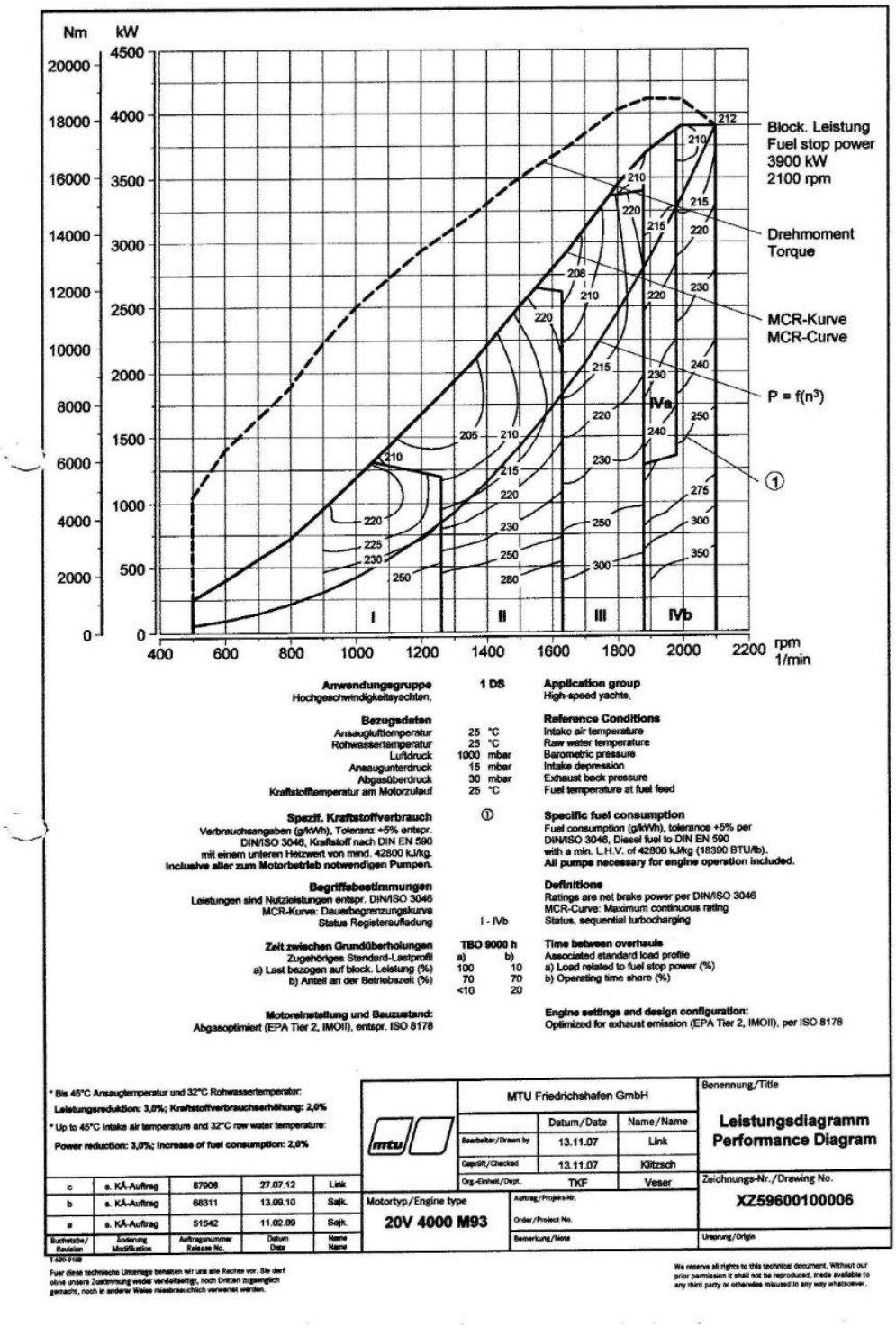
Dari nilai BHP yang telah diketahui pada kecepatan 25 knot, maka dapat ditentukan *main engine* kapal patroli 60m dengan spesifikasi sebagai berikut :

**Tabel 5.9 Spesifikasi *main engine* yang ditentukan**

| | | |
|---|---|---|
| Engine Model | | MTU 20V 4000 M93 |
| Rated Power | kW (hp) | 3900 (5230) |
| Speed | rpm | 2100 |
| No. of Cylinders | | 20 |
| Bore/Stroke | mm (in) | 170/190 (6.7/7.5) |
| Displacement | I (cu in) | 86.2 (5260) |
| Flywheel Housing | | SAE 00 |
| Gearbox type | | ZF 9055 |
| Optimization of Exhaust emissions | | IMO II/EPA 2 |

*Main engine* yang dipilih adalah MTU 20v 4000 M93 3900 kW sehingga total daya mesin adalah 7800 kW menggunakan gearbox ZF 9055 dengan ratio 3.448.

Setelah ditentukan *main engine* yang digunakan pada Kapal Patroli 60m maka dapat dibuat grafik *engine envelope* dan *propeller load* untuk mengetahui interaksi antara *main engine* dan *propeller* yang digunakan. Data *engine envelope* dikeluarkan oleh maker yang didapatkan dari BTH seperti pada Gambar 5.10

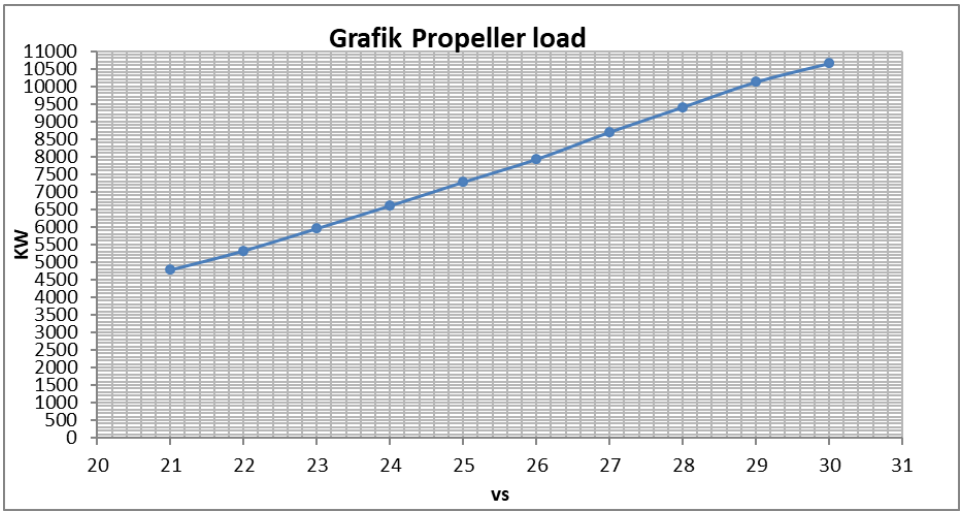



**Gambar 5.10 Data *engine envelope* (BTH-BPPT)**

Setelah didapatkan data *engine envelope* maka akan dibuat grafik *propeller load* sesuai dengan BHP yang telah didapatkan pada tiap kecepatan pada Tabel 5.10

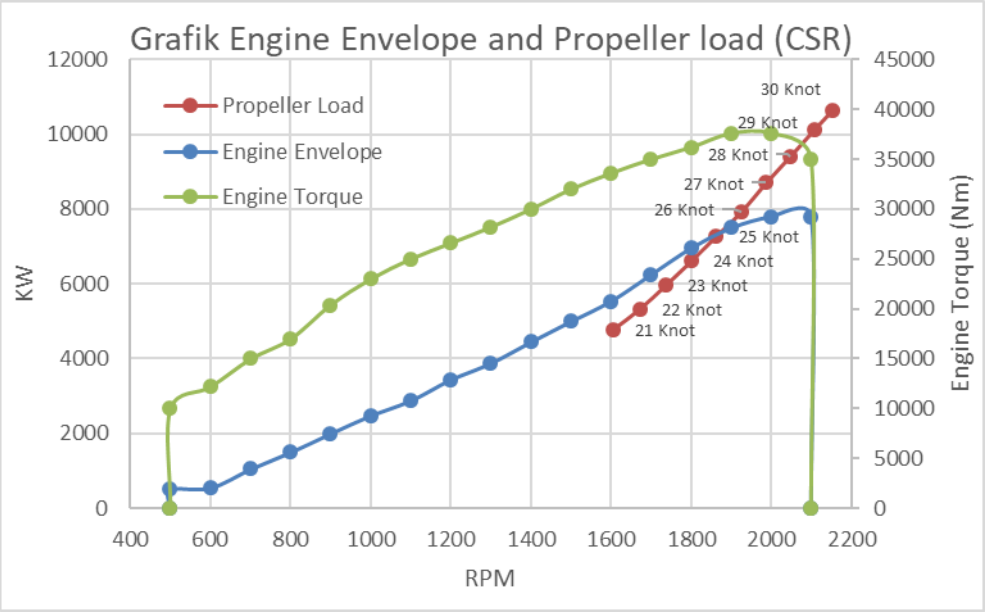
**Tabel 5.10 Perhitungan *propeller load***

| Symmetrical Blade Propeller | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| VS | Nprop | N engine | Q | T | Effisiensi | BHP-MCR |
| Knots | Rpm | Rpm | Nm | KN | | KW |
| 21 | 466 | 1607 | 80.14 | 197.10 | 0.510 | 4787.643 |
| 22 | 485 | 1672 | 85.71 | 213.50 | 0.513 | 5329.125 |
| 23 | 504 | 1737 | 92.35 | 223.55 | 0.519 | 5963.845 |
| 24 | 522 | 1800 | 98.75 | 240.28 | 0.525 | 6611.62 |
| 25 | 540 | 1863 | 105.10 | 257.39 | 0.532 | 7282.902 |
| 26 | 558 | 1926 | 110.78 | 266.53 | 0.536 | 7932.356 |
| 27 | 576 | 1987 | 117.80 | 283.80 | 0.540 | 8704.209 |
| 28 | 594 | 2048 | 123.62 | 301.39 | 0.541 | 9412.641 |
| 29 | 611 | 2108 | 129.20 | 309.29 | 0.544 | 10125.89 |
| 30 | 625 | 2153 | 133.05 | 322.87 | 0.548 | 10653.91 |

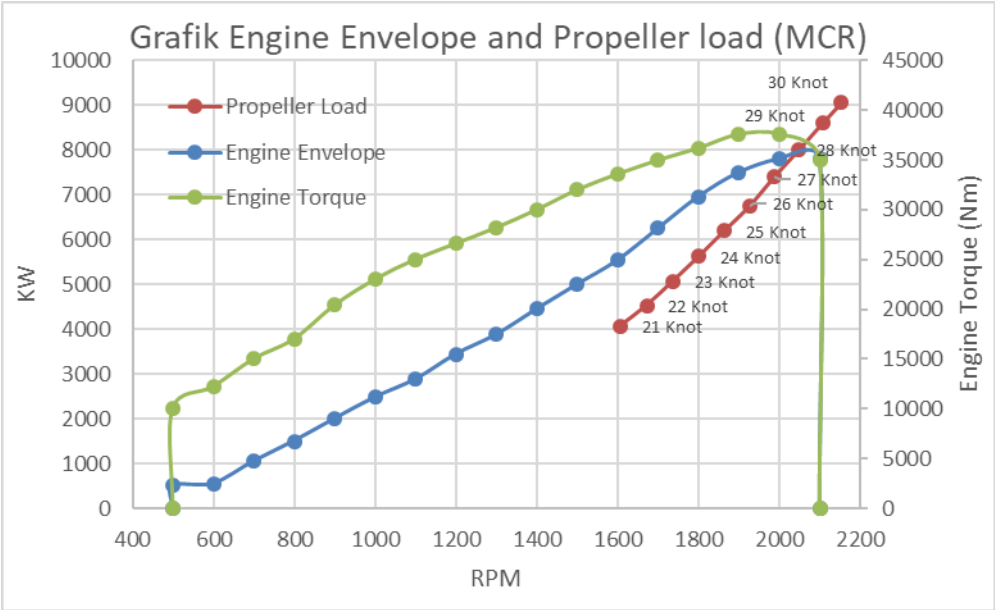



**Gambar 5.11 Grafik *propeller load***

Setelah didapatkan grafik *engine envelope* dan *propeller load* maka dapat diketahui interaksi antara *main engine* dengan *propeller* yang digunakan dengan ratio *gearbox* sebesar 3.448 dan dilakukan dalam dua kondisi, yaitu *Continous Service Rating* (CSR) dan *Maximum Service Rating* (MCR).




**Gambar 5.12 Grafik *Engine Envelope* dan *Propeller Load Symmetrical Blade Propeller* pada Kondisi CSR**

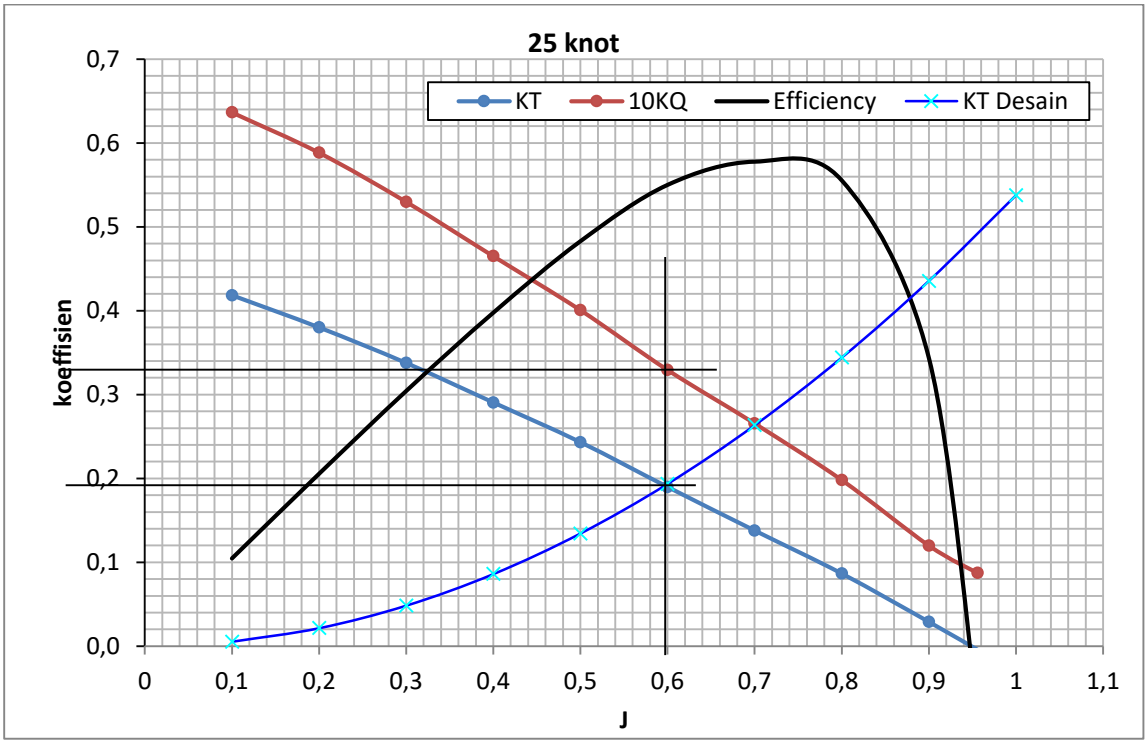



**Gambar 5.13 Grafik *Engine Envelope* dan *Propeller Load Symmetrical Blade Propeller* pada Kondisi MCR**

Dari grafik *engine envelope* dan *propeller load* yang telah dibuat seperti pada Gambar 5.12 dan Gambar 5.13. Berdasarkan *main engine* yang akan di instal diperkirakan kecepatan kapal yang mampu dioperasikan dengan menggunakan *Symmetrical Blade Propeller* adalah 25 knot pada kondisi CSR dan 28 knot pada kondisi MCR karena pada kecepatan tersebut nilai BHP yang dihasilkan masih di bawah dari total daya mesin yang akan di instal pada Kapal Patroli 60m yaitu sebesar 7800kW. Dapat diketahui juga bahwa *Engine Torque* pada *main engine* yang di *instal* pada Kapal Patroli 60m cukup untuk memutar *propeller*, baik pada kondisi CSR maupun MCR.

### 5.4.2. Engine Propeller Matching B Series Propeller

Dengan menggunakan perhitungan $K_T$ Desain pada Tabel 5.7, dapat dibuat grafik pada tiap kecepatan dan di plotkan pada diagram open water *B series propeller* yang telah dibuat.




**Gambar 5.14 Plot $K_T$ desain pada diagram *open water B Seres Propeller***

Dari hasil plot $K_T$ desain pada diagram open water seperti pada Gambar 5.14, dapat diketahui nilai J, $K_T$, dan $10K_Q$ pada perpotongan $K_T$ Desain nya. Pada kecepatan 25 knot dihasilkan nilai J 0.595 , nilai $K_T$ 0.185 dan nilai $10K_Q$ 0.034. Setelah itu, dengan melakukan metode yang sama pada tiap kecepatan dapat dibuat tabel sebagai berikut

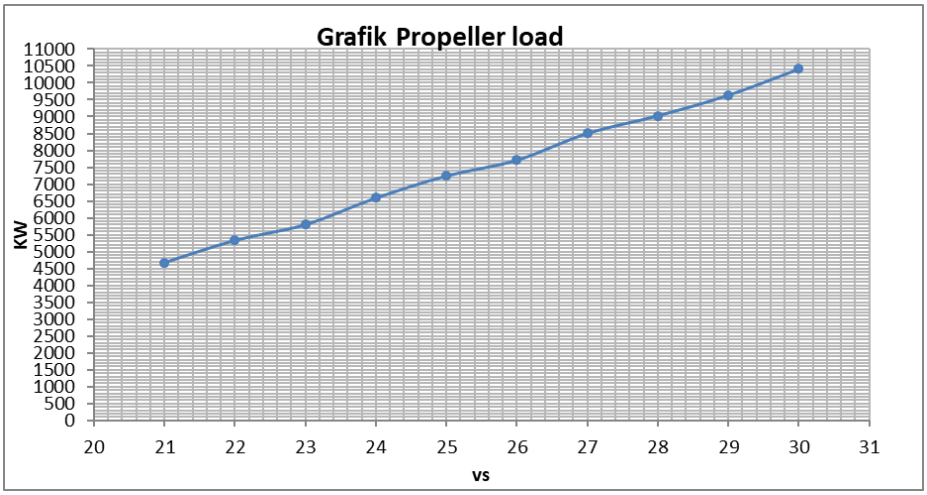
**Tabel 5.11 Perhitungan nilai BHP**

| VS | Va | J | Nprop | KQ | Q | KT | T | DHP | SHP | BHP-CSR | BHP-MCR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Knots | | | Rpm | | Nm | | KN | KW | KW | KW | KW |
| 21 | 10.33 | 0.58 | 611 | 0.0343 | 59.75 | 0.197 | 196.08 | 3818 | 3895.7 | 3975.3 | 4676.765 |
| 22 | 10.82 | 0.581 | 638 | 0.0342 | 65.16 | 0.196 | 213.37 | 4354 | 4443.1 | 4533.8 | 5333.881 |
| 23 | 11.31 | 0.59 | 657 | 0.0341 | 68.86 | 0.192 | 221.54 | 4737 | 4834.0 | 4932.6 | 5803.091 |
| 24 | 11.80 | 0.59 | 686 | 0.0341 | 74.97 | 0.190 | 238.71 | 5382 | 5492.3 | 5604.4 | 6593.403 |
| 25 | 12.30 | 0.595 | 708 | 0.034 | 79.75 | 0.185 | 247.98 | 5914 | 6034.9 | 6158.1 | 7244.786 |
| 26 | 12.79 | 0.6 | 731 | 0.033 | 82.34 | 0.184 | 262.33 | 6297 | 6425.4 | 6556.6 | 7713.612 |
| 27 | 13.28 | 0.6 | 759 | 0.0325 | 87.45 | 0.182 | 279.83 | 6945 | 7086.7 | 7231.3 | 8507.431 |
| 28 | 13.77 | 0.61 | 774 | 0.0325 | 90.99 | 0.180 | 287.95 | 7371 | 7521.3 | 7674.8 | 9029.121 |
| 29 | 14.26 | 0.615 | 795 | 0.032 | 94.54 | 0.180 | 303.89 | 7868 | 8028.6 | 8192.5 | 9638.205 |
| 30 | 14.75 | 0.62 | 816 | 0.032 | 99.55 | 0.178 | 316.43 | 8501 | 8674.8 | 8851.9 | 10413.97 |

Dengan menggunakan data *engine envelope* pada Gambar 5.4 maka akan dibuat grafik *propeller load* sesuai dengan BHP yang telah didapatkan pada tiap kecepatan pada Tabel 5.12

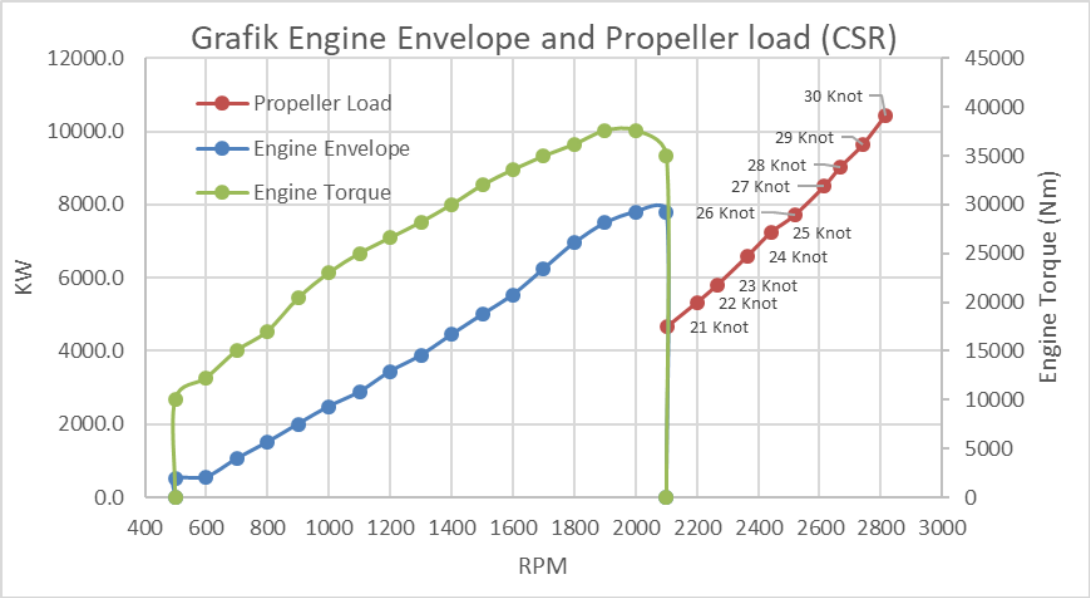
**Tabel 5.12 Perhitungan *Propeller Load B Series Propeller***

| B-Series Propeller | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| VS | Nprop | N engine | Q | T | Effisiensi | BHP-MCR |
| Knots | Rpm | Rpm | Nm | KN | | KW |
| 21 | 611 | 2105 | 59.75 | 196.08 | 0.501 | 4676.8 |
| 22 | 638 | 2202 | 65.16 | 213.37 | 0.511 | 5333.9 |
| 23 | 657 | 2266 | 68.86 | 221.54 | 0.518 | 5803.1 |
| 24 | 686 | 2365 | 74.97 | 238.71 | 0.523 | 6593.4 |
| 25 | 708 | 2443 | 79.75 | 247.98 | 0.526 | 7244.8 |
| 26 | 731 | 2519 | 82.34 | 262.33 | 0.533 | 7713.6 |
| 27 | 759 | 2616 | 87.45 | 279.83 | 0.535 | 8507.4 |
| 28 | 774 | 2669 | 90.99 | 287.95 | 0.538 | 9029.1 |
| 29 | 795 | 2742 | 94.54 | 303.89 | 0.541 | 9638.2 |
| 30 | 816 | 2813 | 99.55 | 316.43 | 0.545 | 10414.0 |

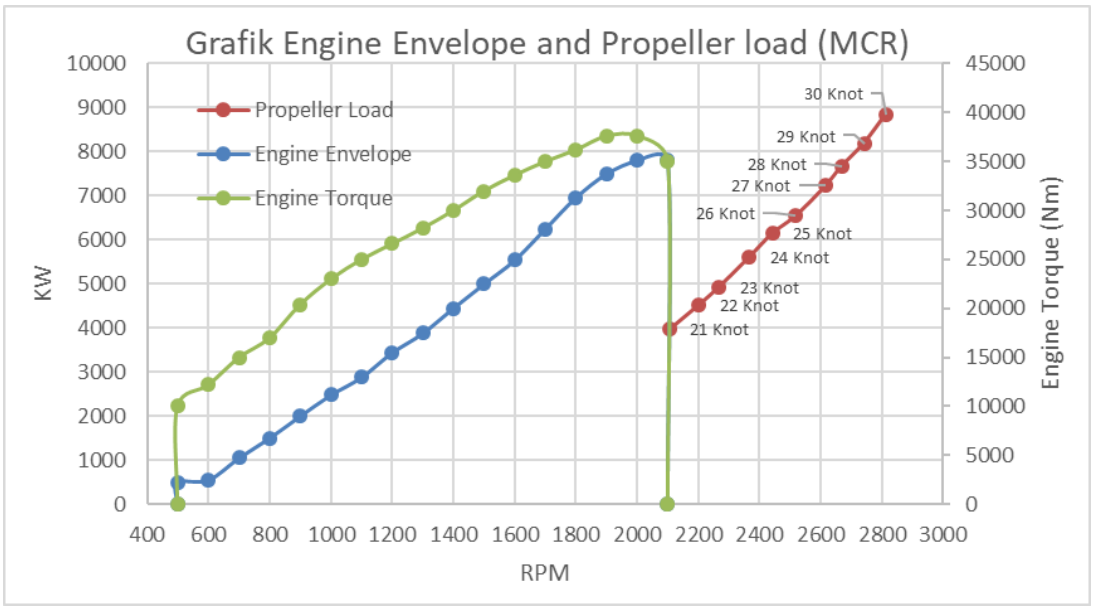



**Gambar 5.15 Grafik *Propeller Load B Series Propeller***

Setelah didapatkan grafik *engine envelope* dan *propeller load* maka dapat diketahui interaksi antara *main engine* dengan *propeller* yang digunakan dengan ratio *gearbox* sebesar 3.448 dan dilakukan dalam dua kondisi, yaitu *Continous Service Rating* (CSR) dan *Maximum Service Rating* (MCR).




**Gambar 5.16 Grafik *Engine Envelope* dan *Propeller Load B Series Propeller* pada Kondisi CSR**




**Gambar 5.17 Grafik *Engine Envelope* dan *Propeller Load B Series Propeller* pada Kondisi MCR**

Dari grafik *engine envelope* dan *propeller load* yang telah dibuat seperti pada Gambar 5.16 dan Gambar 5.17. Berdasarkan *main engine* yang akan di instal diperkirakan kecepatan kapal yang mampu dioperasikan dengan menggunakan *B Series Propeller* adalah 21 knot pada kondisi CSR dan kondisi MCR. Karena putaran yang dihasilkan oleh *propeller load* tidak memenuhi putaran mesin yang tersedia sebesar 2100 rpm jika dikalikan dengan *ratio gearbox* yang akan dipasang. Sehingga *B series propeller* kurang optimum jika digunakan pada *main engine* yang di instal pada Kapal Patroli 60m.

Halaman ini sengaja dikosongkan

# BAB 6
# KESIMPULAN DAN SARAN

## 6.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil dan pembahasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dengan menggunakan CFD dapat diketahui jika *Symmetrical Blade Propeller* memiliki nilai *thrust* dan *torque* yang lebih besar dibandingkan dengan *B Series Propeller*.
2. *Main engine* yang direkomendasikan pada Kapal Patroli 60m adalah MTU 20v 4000 M93 3900 kW dengan total daya mesin adalah 7800 kW menggunakan gearbox ZF 9055 dengan ratio 3.448.
3. Dengan menggunakan *Symmetrical Blade Propeller* dapat mendorong kapal pada kecepatan 25 knot pada kondisi CSR dan 28 knot dalam kondisi MCR.
4. Dengan menggunakan *B Series Propeller* hanya dapat mendorong kapal pada kecepatan 21 knot pada kondisi CSR dan MCR. Sehingga *B Series Propeller* kurang optimum jika digunakan pada Kapal Patroli 60m dibandingkan dengan *Symmetrical Blade Propeller*.

## 6.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penulis merasakan masih banyak kekurangan yang perlu deperbaiki dan penelitian yang perlu dilakukan selanjutnya. Sehingga saran yang ingin dikemukakan untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Hasil diagram *open water symmetrical blade propeller* ini dapat digunakan pada kapal lain asalkan memiliki kemiripan ukuran kapal.
2. Perlu dilakukannya analisa kavitasi propeller yang dapat dilakukan uji model di *Cavitation Tunnel*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

# DAFTAR PUSTAKA


Adji, S. W. (2005). *Engine Propeller Matching.* Surabaya: Kumpulan Jurnal Ilmiah FTK – ITS.

Anderson Jr., J.D. (1995). Computational Fluid Dynamics: The Basics with Applications. New York: McGraw-Hill, Inc.

Carlton, J. S. (2007). *Marine Propellers and propulsion (2nd ed.)*. Oxford: Elsevier Inc.

Harvald, S.V. (1983). *Resistance and Propulsion of Ships*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.

Haryanto, E., Santoso, A., Arief. I. S. (2011). Thesis. *Optimalisasi Design Triple Screw Propeller Untuk Kapal Patroli Cepat 40m Dengan Pendekataan CFD.* Surabaya: Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Huda, R. W. (2011). Tugas Akhir. *Analisa Pengaruh Skew Angle Terhadap Performa Propeller Dengan Pendekatan CFD*. Surabaya : Departmen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Indiaryanto, M. (2017). Thesis. *Kajian Numerik Pengembangan Symmetrical Blade Propeller Untuk Kapal Patroli 60m Dengan Menggunakan Teori Lifting Line.* Surabaya: Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

ITTC Recomended Procedure. (2014). *Open Water Test*. Venice : International Towing Tank Conference (ITTC).

Kundu, P.K., Cohen, I.M. (2008). *Fluid Mechanics*. Oxford: Elsevier Inc.

Kim, G.H., Park, S.O. (2013). Explicit Algebraic Reynolds Stress Model for Compressible Flow Turbulence, *Journal of Turbulence,* Volume 14(5), pp. 35-59.

Lewis, E.V. (1988). *Principles of Naval Architecture Vol. II*. Jersey City: The Society of Naval Architects and Marine Engineers.

Menter, F.R. (1994). Two-equation Eddy-viscosity Turbulence Model for Engineering Application. *AIAA Journal,* Volume 32(8), pp. 1598-1605.

Molland, A.F., Turnock, S.R., Hudson, D.A. (2011). *Ship Resistance and Propulsion.*. Cambridge: University of Cambridge.

Suastika, K., Hidayat, A., Riyadi., S. (2017). Effect of The Aplication of A Stern Foil on Ship Resistance: A Case Study of An Orela Crew Boat. *International Journal of Technology,* Volume 7, pp. 1267 – 1268.

Wibowo, G. P., Chrismianto, D., Arswendo. B. (2017). Tugas Akhir. *Analisa Nilai Thrust Optimum Propeller B4-70, Ka4-70 Dan Au4-59 Pada Kapal Tugboat Pelabuhan Paket-Ii 2x1850hp Dengan Variasi Sudut Rake Menggunakan CFD.* Semarang: Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

Widayatno (2012). Tugas Akhir. Analisa Aliran Pada Ducted Propeller Dengan Pendekatan CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Surabaya: Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

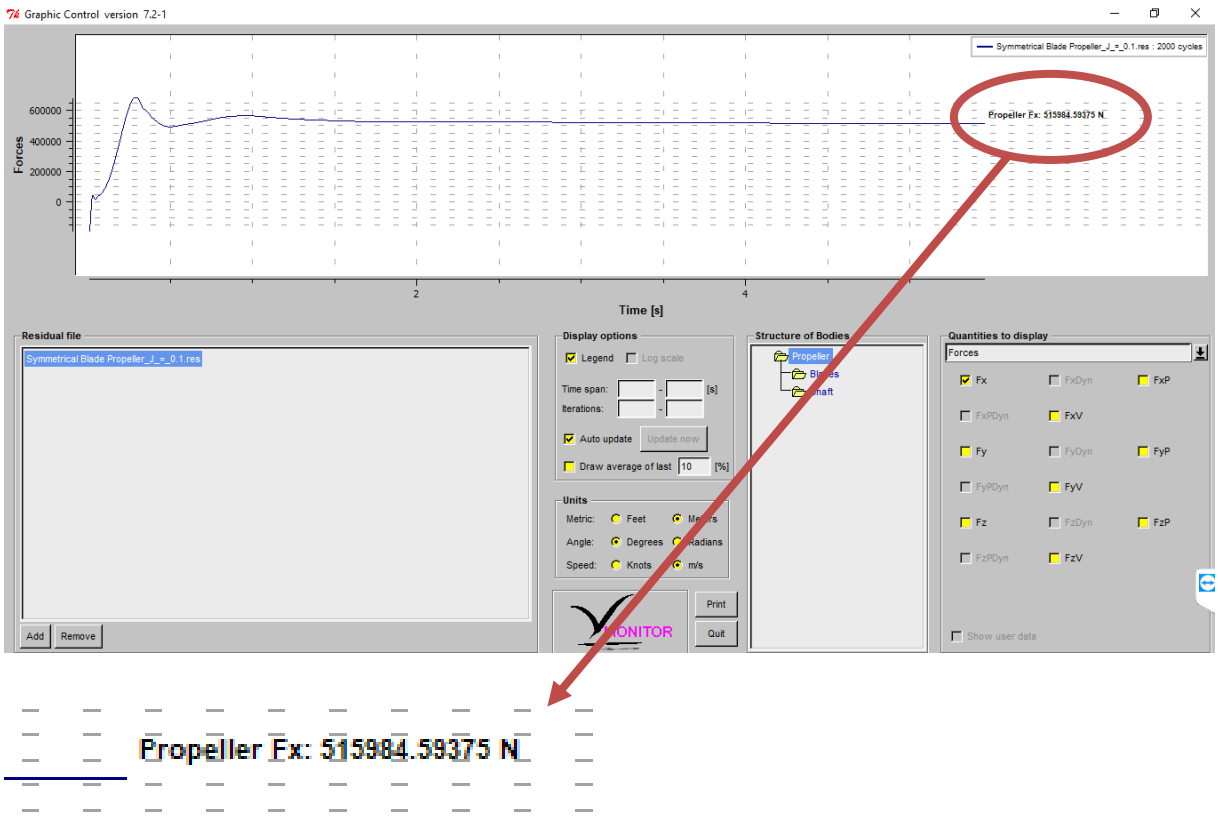
# LAMPIRAN

Lampiran A Hasil *Thrust* dan *Torque* Simulasi CFD
Lampiran B Visualisasi Aliran
Lampiran C Diagram $K_T$ Desain Pada Setiap Kecepatan

# LAMPIRAN A
# HASIL *THRUST* DAN *TORQUE* SIMULASI CFD

Nilai *Thrust* dan *Torque* simulasi *Symmetrical Blade Propeller* (J = 0.1)

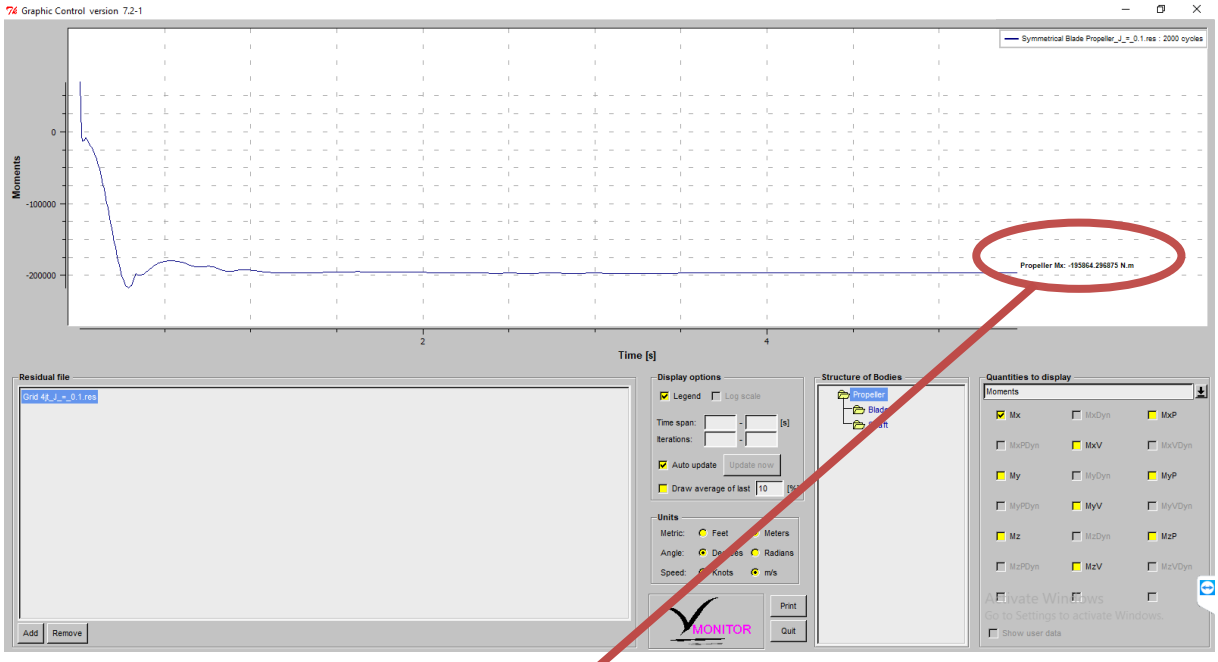
a. *Thrust*

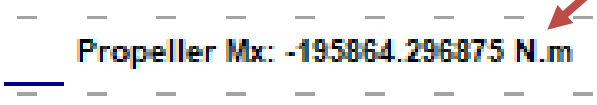






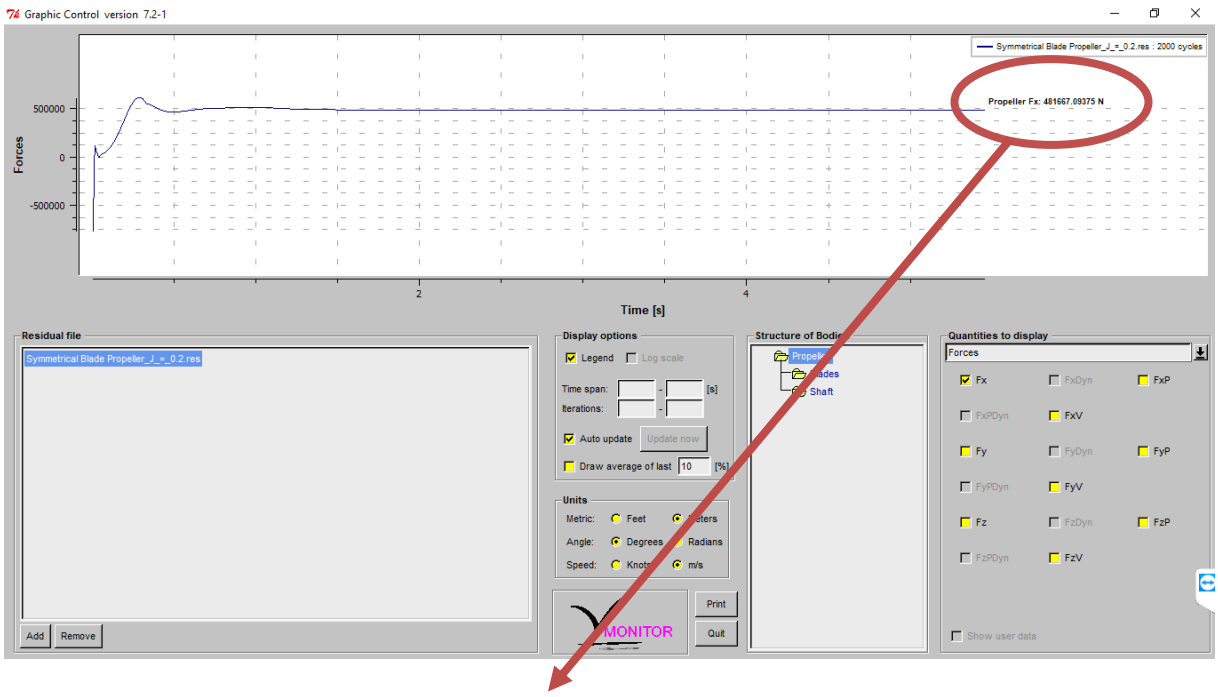
b. *Torque*



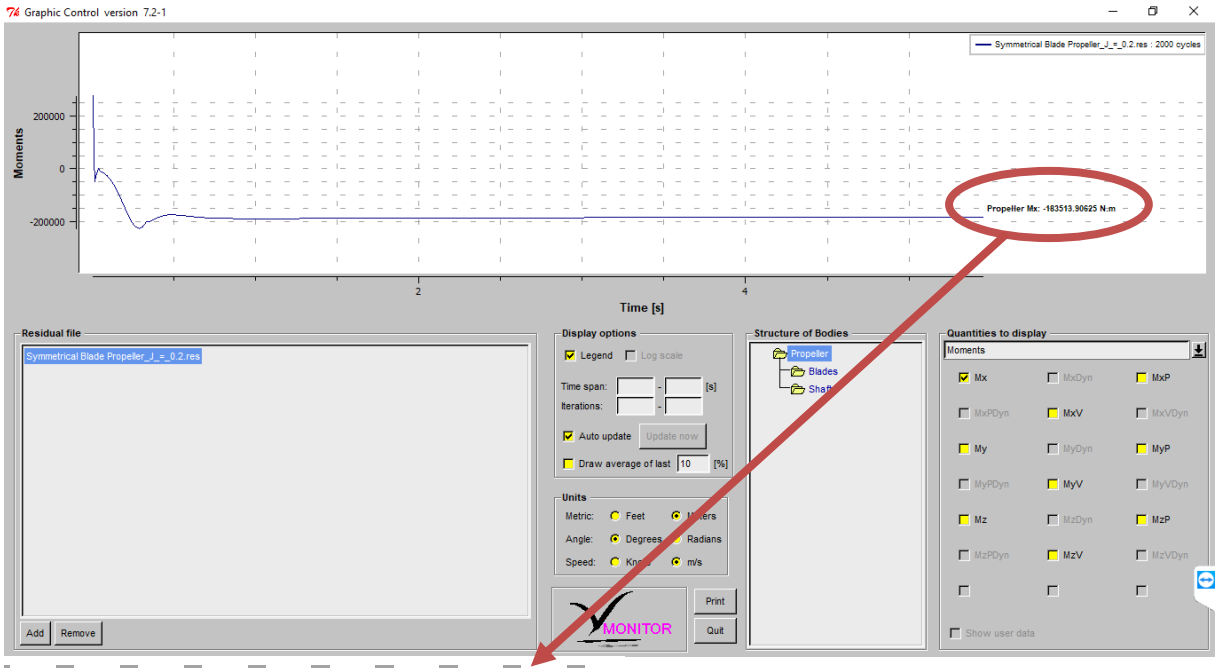
Nilai *Thrust* dan *Torque* simulasi *Symmetrical Blade Propeller* (J = 0.2)

a. *Thrust*




Propeller Fx: 481667.09375 N

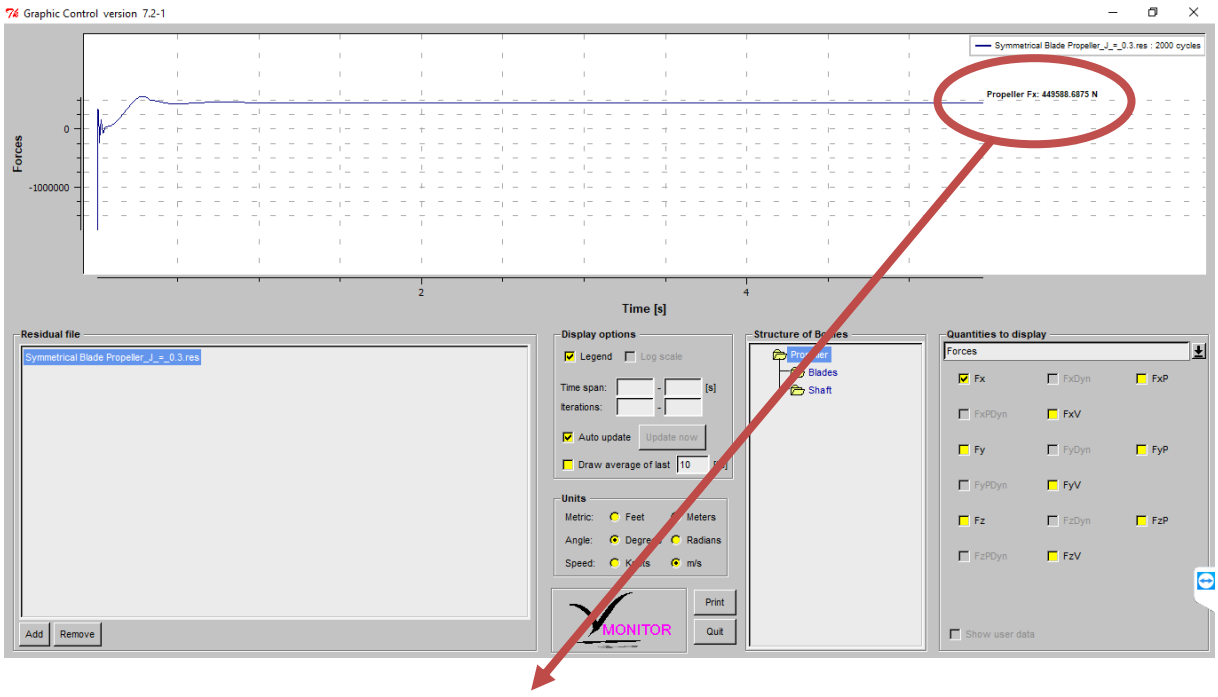
b. *Torque*




Propeller Mx: -183513.90625 N.m

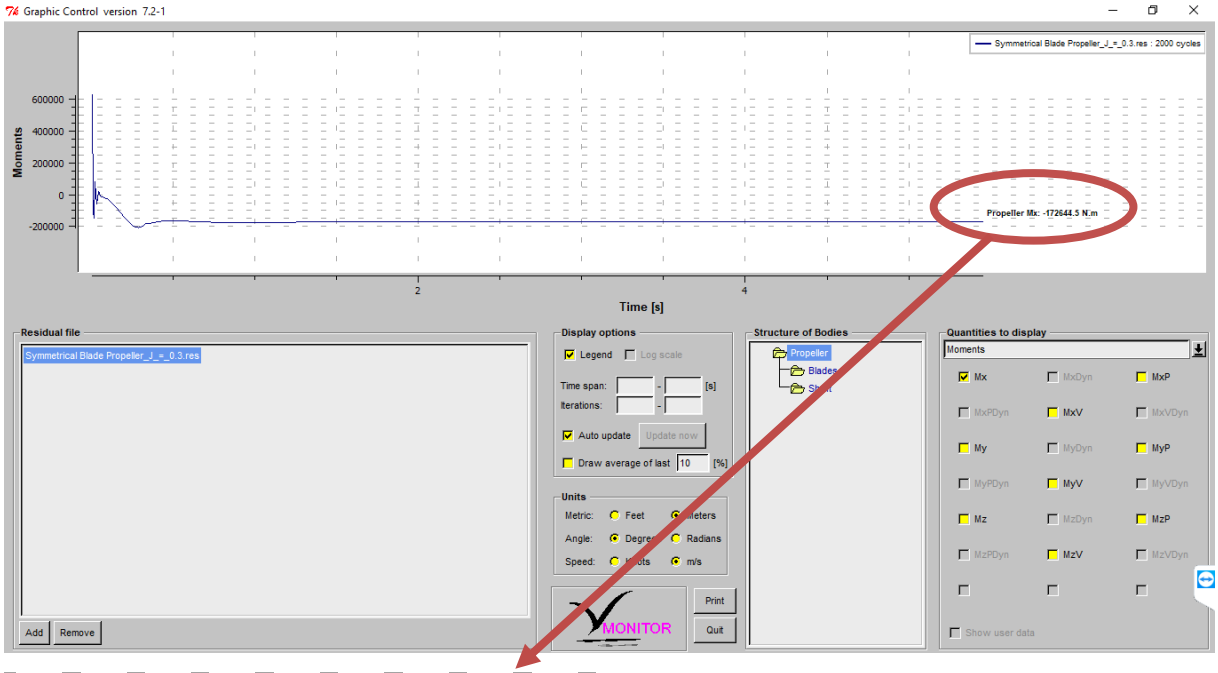
Nilai *Thrust* dan *Torque* simulasi *Symmetrical Blade Propeller* (J = 0.3)

a. *Thrust*




Propeller Fx: 449588.6875 N

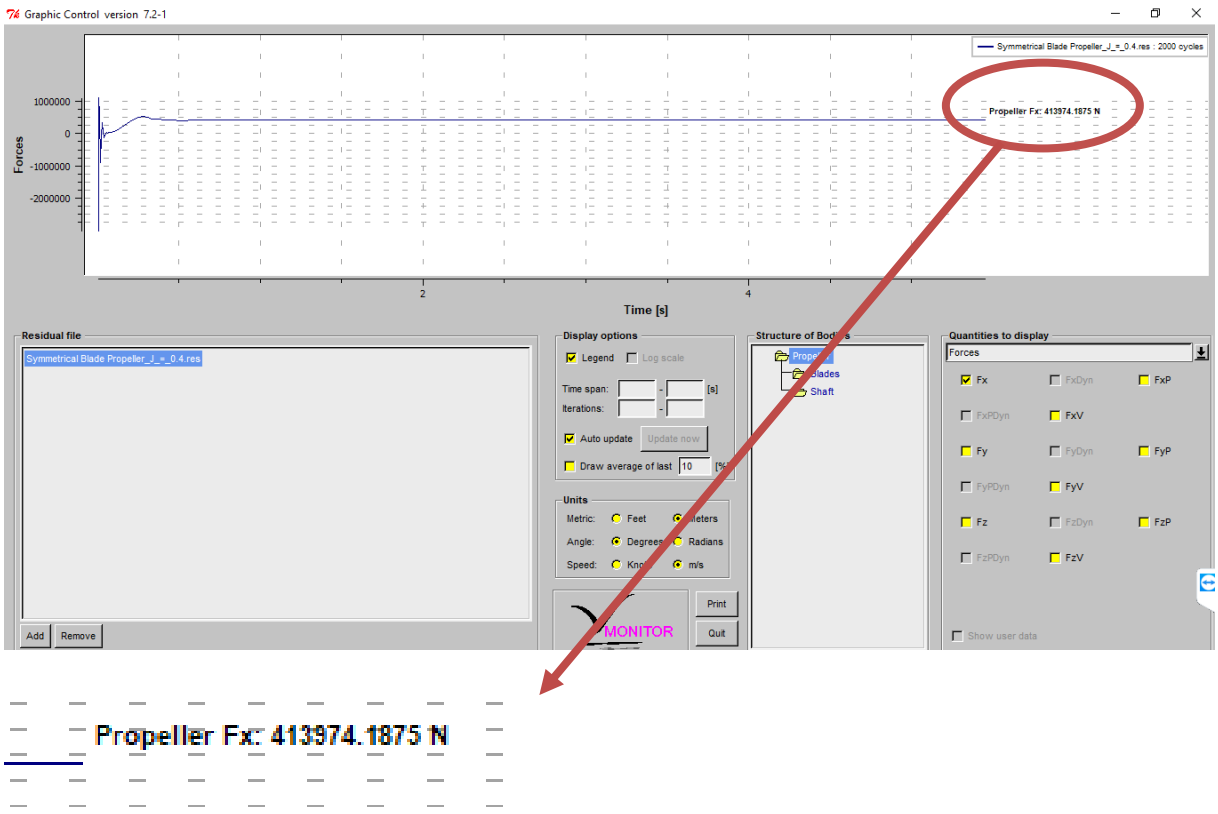
b. *Torque*




Propeller Mx: -172644.5 N.m

Nilai *Thrust* dan *Torque* simulasi *Symmetrical Blade Propeller* (J = 0.4)

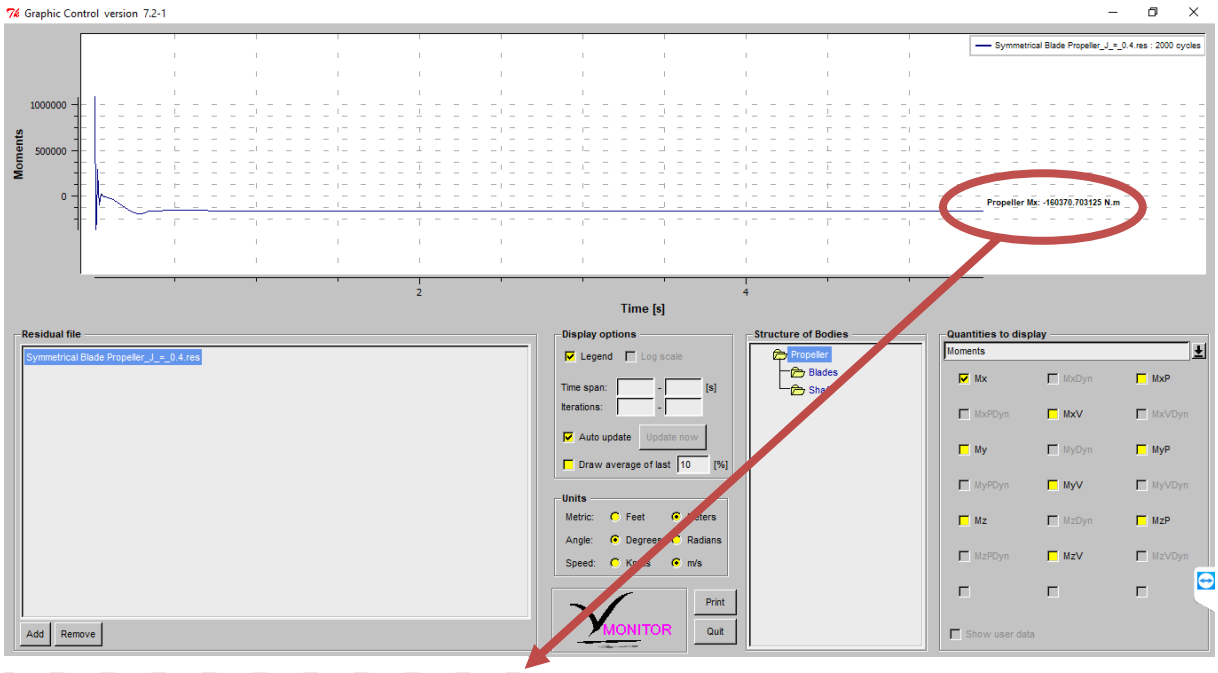
a. *Thrust*

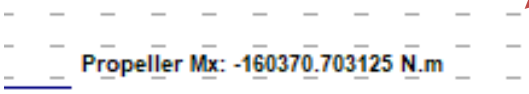






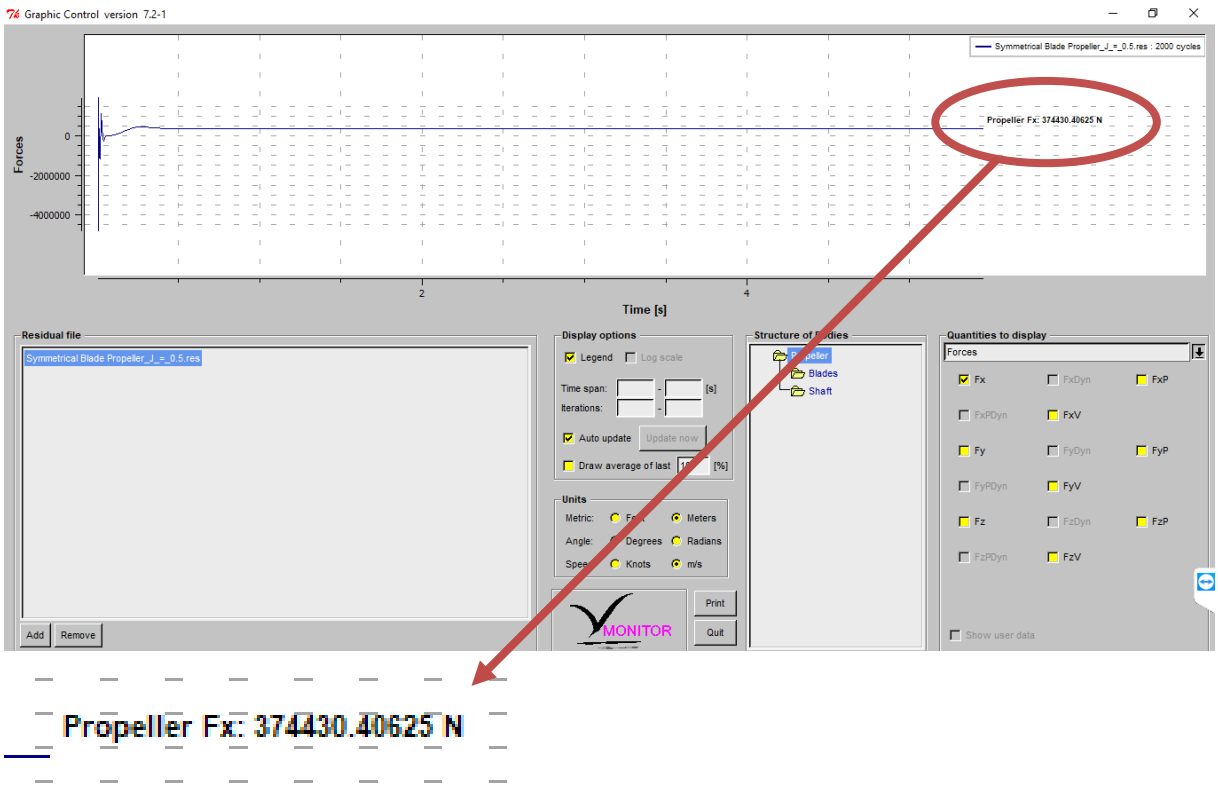
b. *Torque*



Nilai *Thrust* dan *Torque* simulasi *Symmetrical Blade Propeller* (J = 0.5)

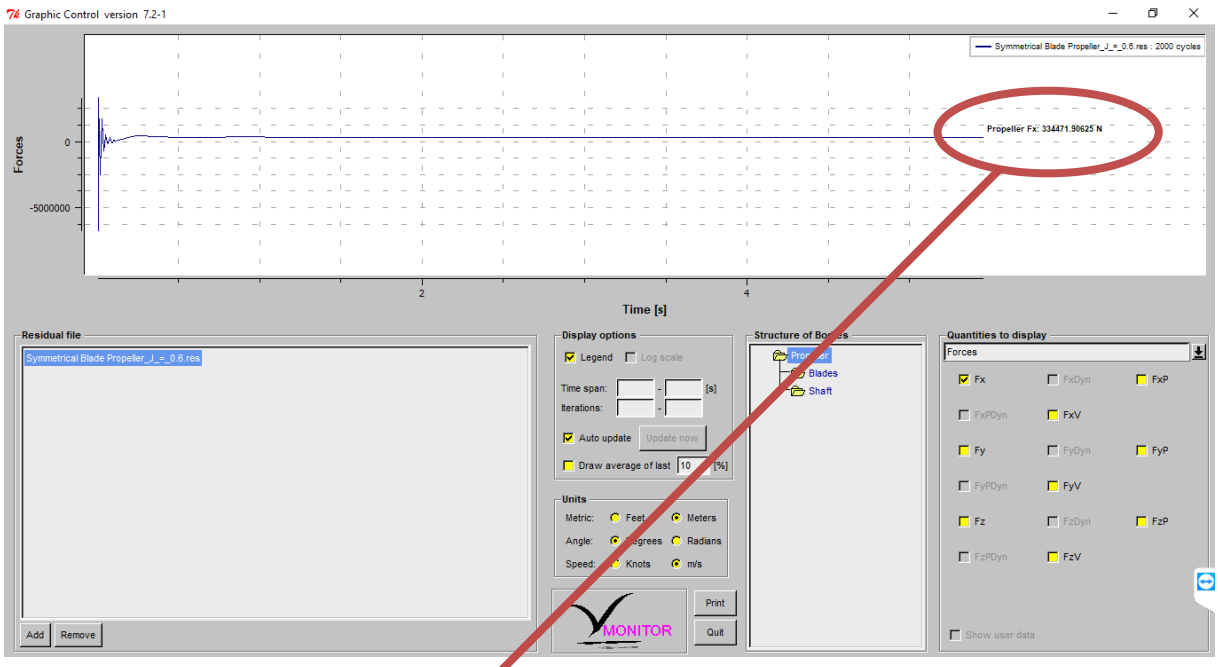
a. *Thrust*





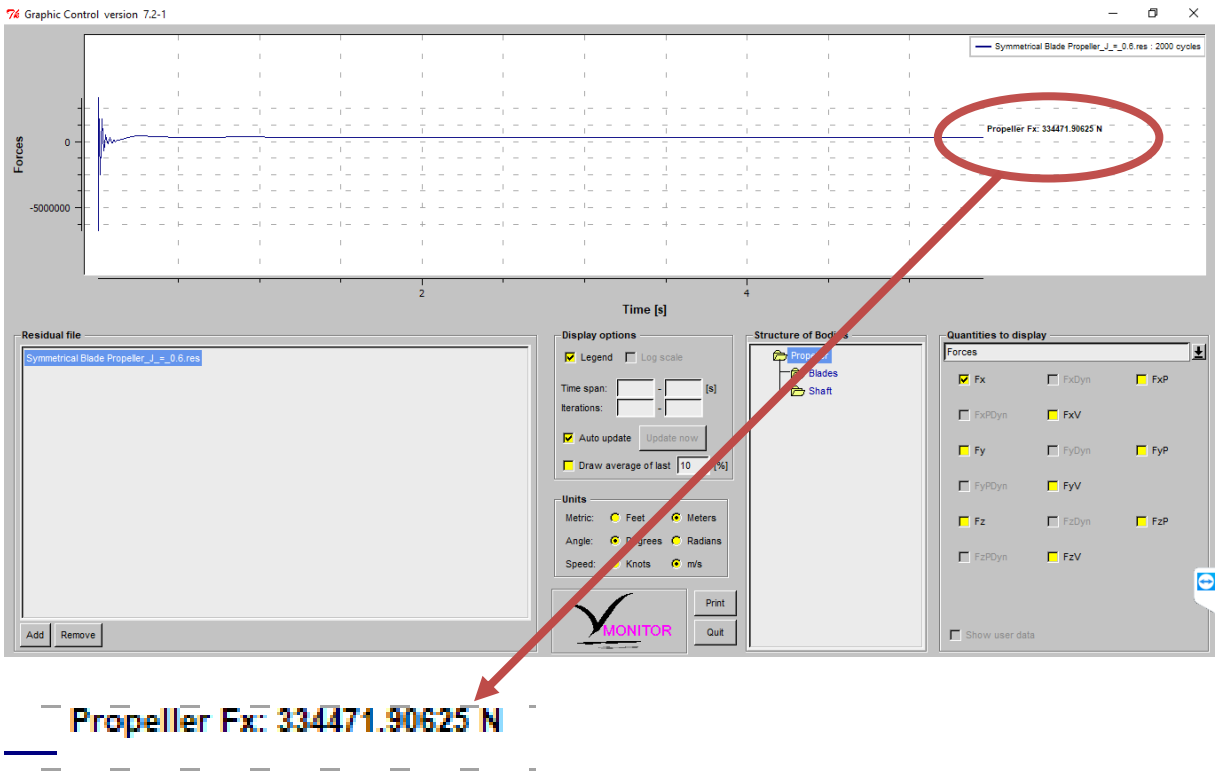


b. *Torque*



Nilai *Thrust* dan *Torque* simulasi *Symmetrical Blade Propeller* (J = 0.6)

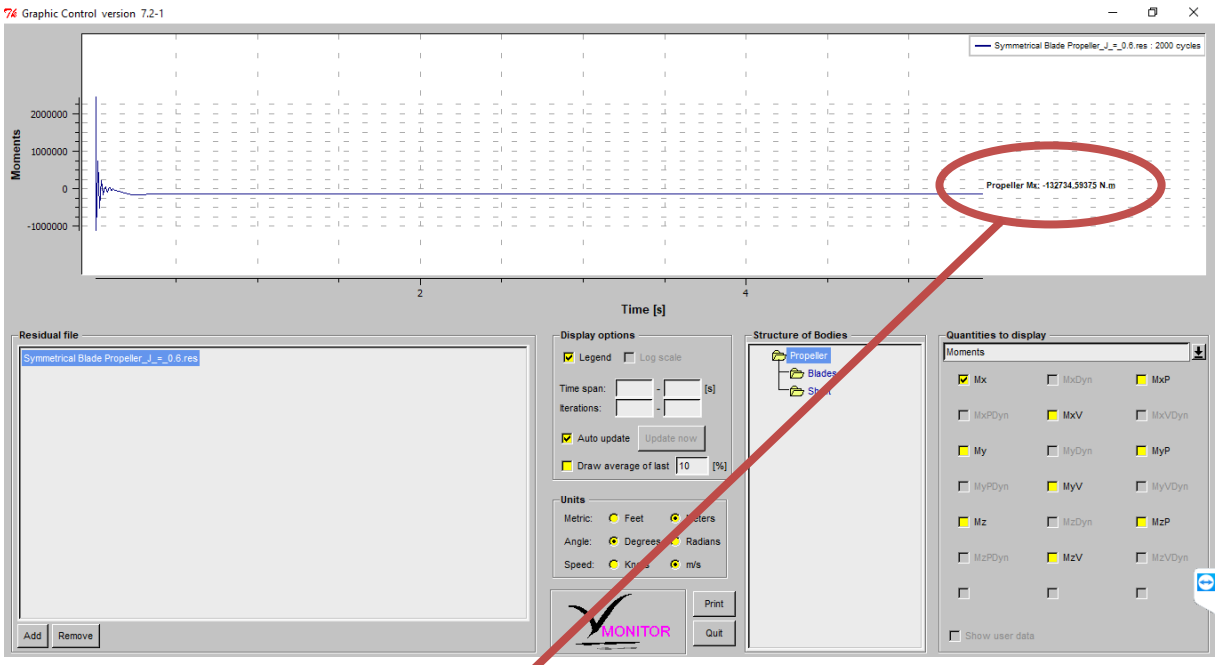
a. *Thrust*

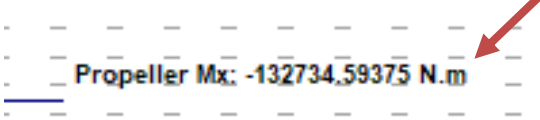






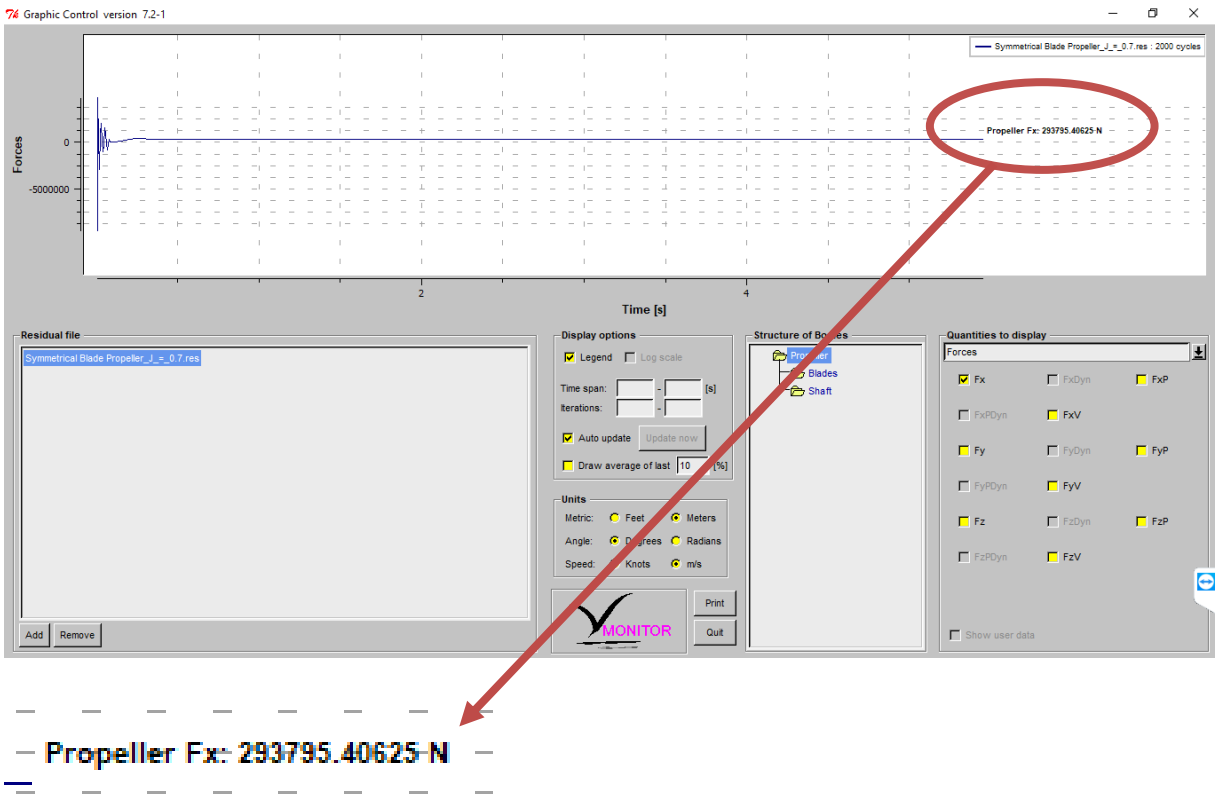
b. *Torque*



Nilai *Thrust* dan *Torque* simulasi *Symmetrical Blade Propeller* (J = 0.7)

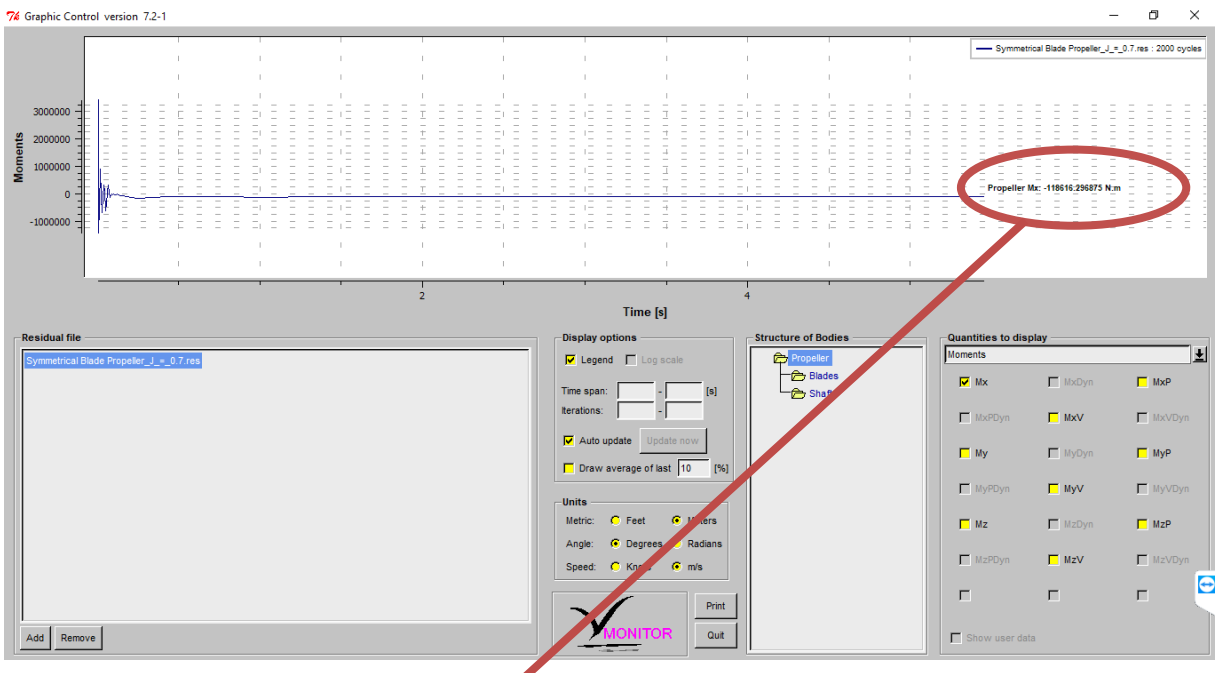
a. *Thrust*

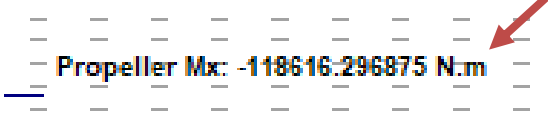






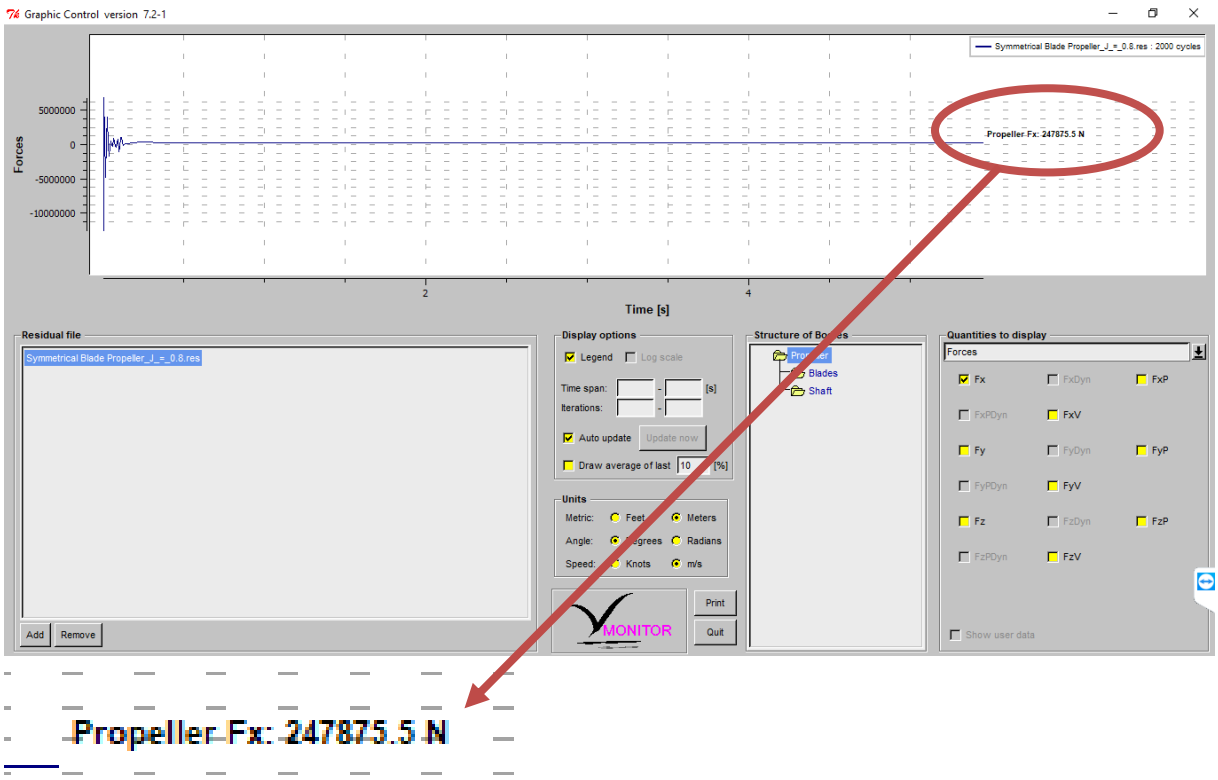
b. *Torque*



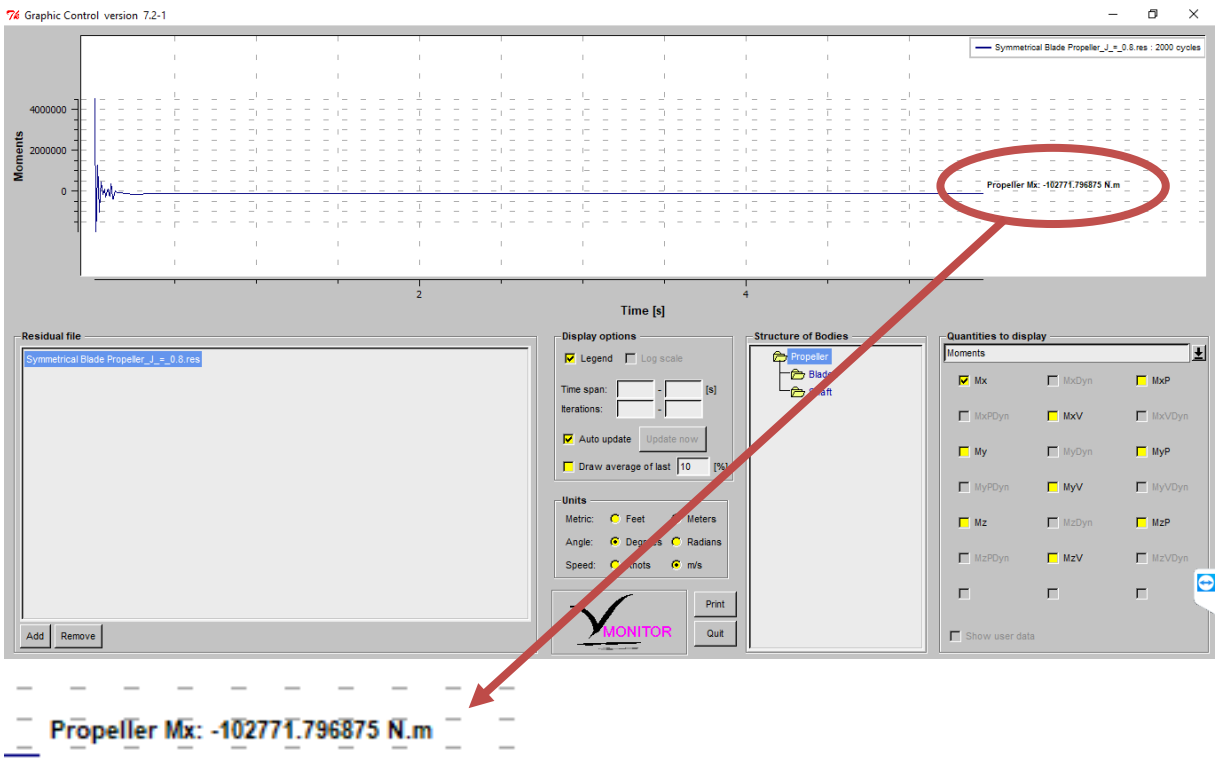



Nilai *Thrust* dan *Torque* simulasi *Symmetrical Blade Propeller* (J = 0.8)

a. *Thrust*

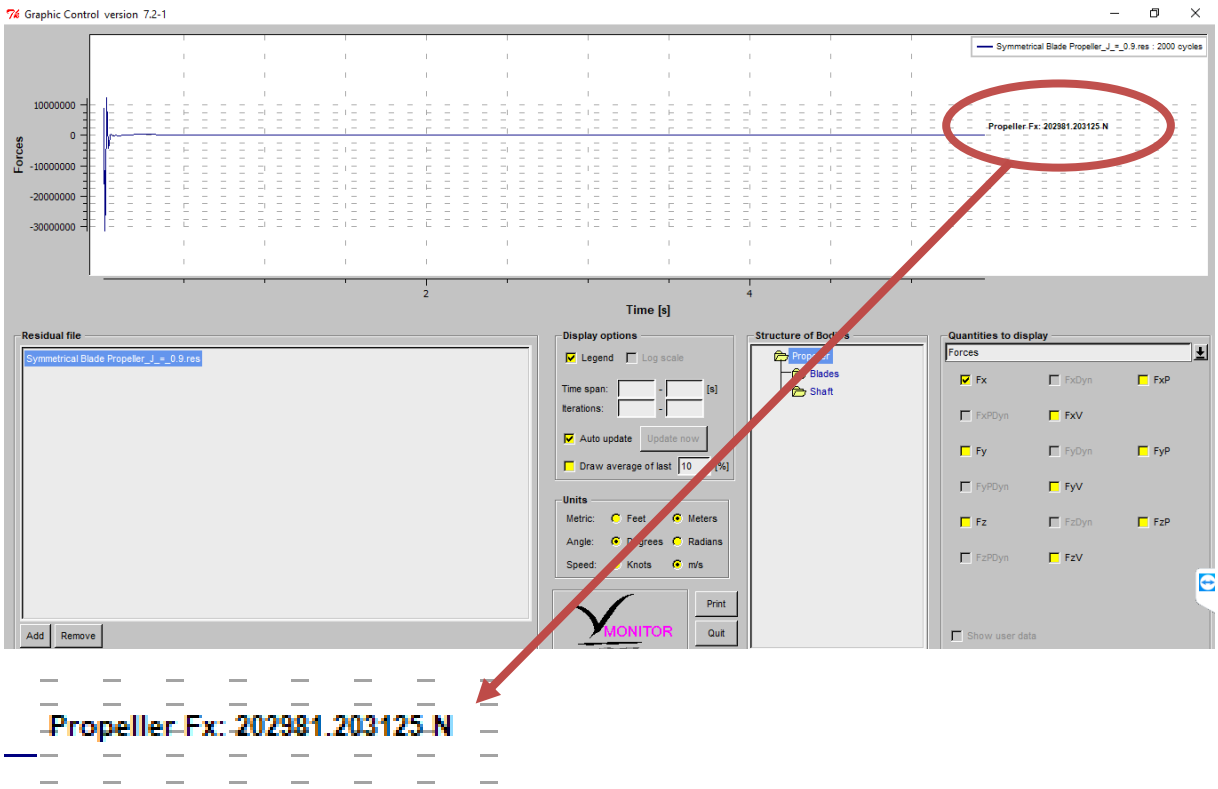



b. *Torque*



Nilai *Thrust* dan *Torque* simulasi *Symmetrical Blade Propeller* (J = 0.9)

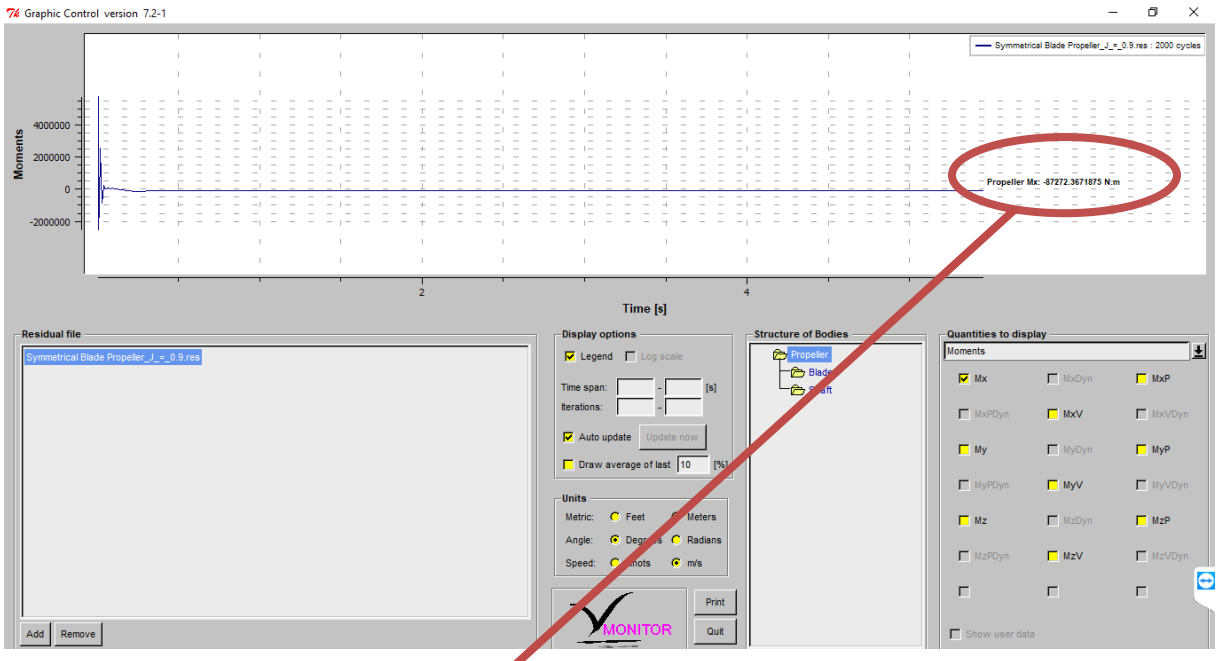
a. *Thrust*

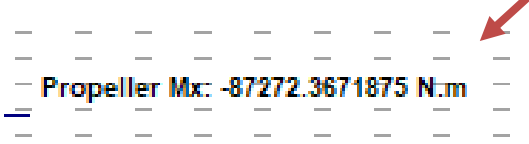






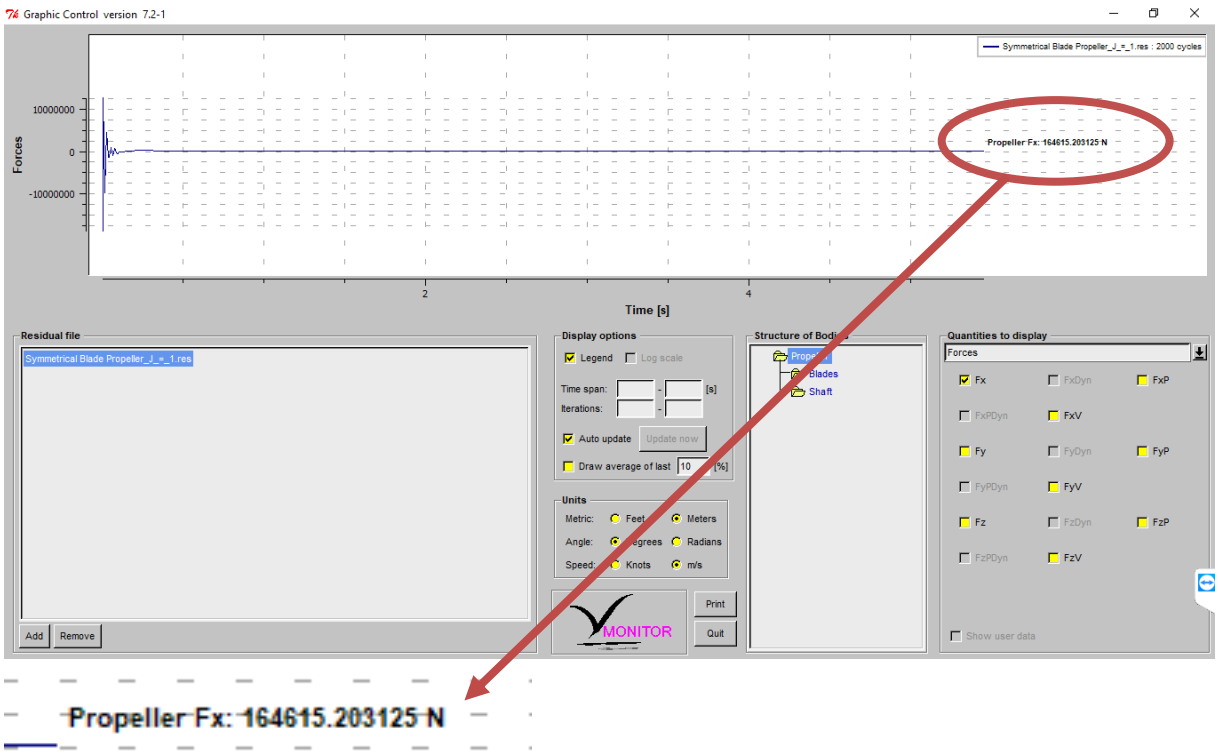
b. *Torque*



Nilai *Thrust* dan *Torque* simulasi *Symmetrical Blade Propeller* (J = 1)

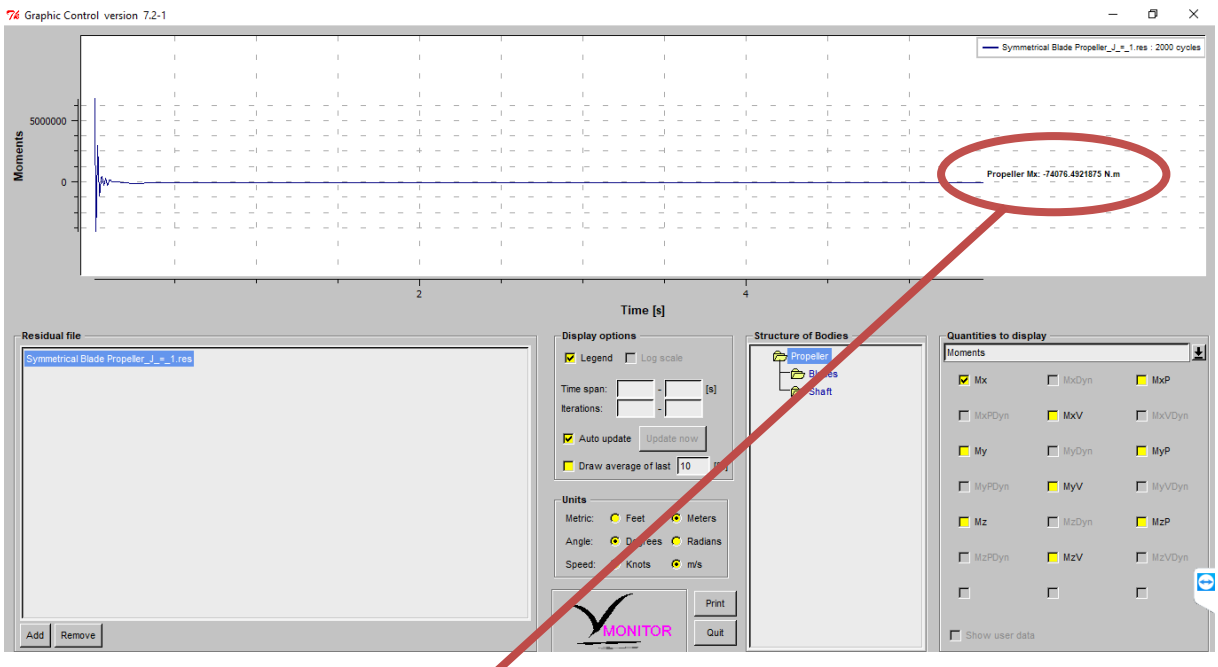
a. *Thrust*

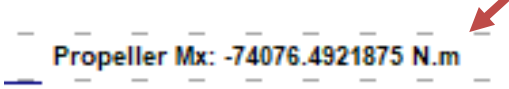






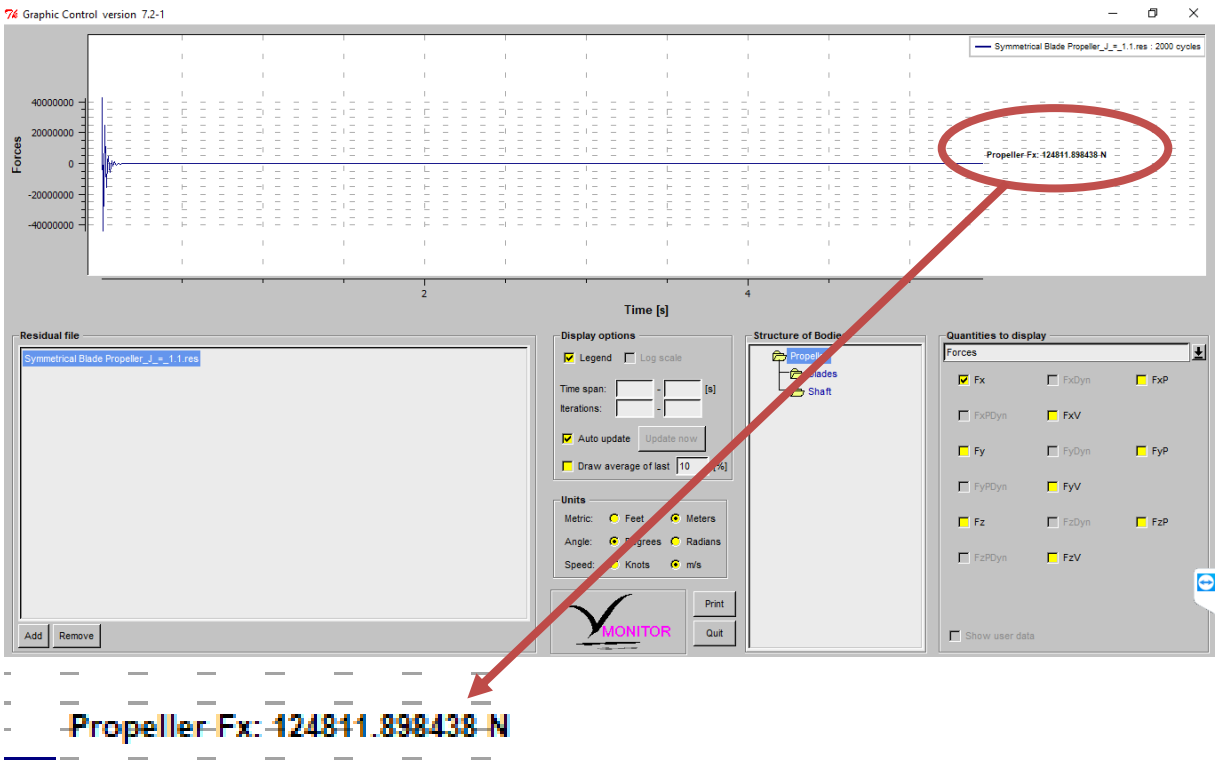
b. *Torque*



Nilai *Thrust* dan *Torque* simulasi *Symmetrical Blade Propeller* (J = 1.1)

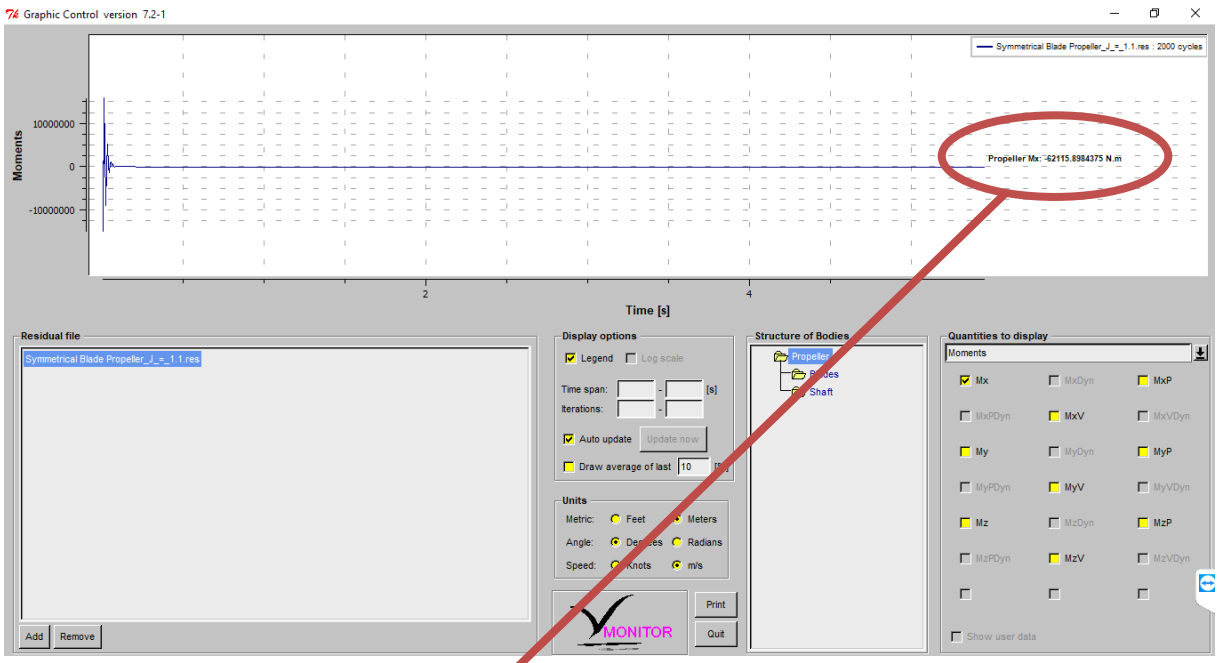
a. *Thrust*

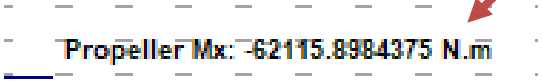






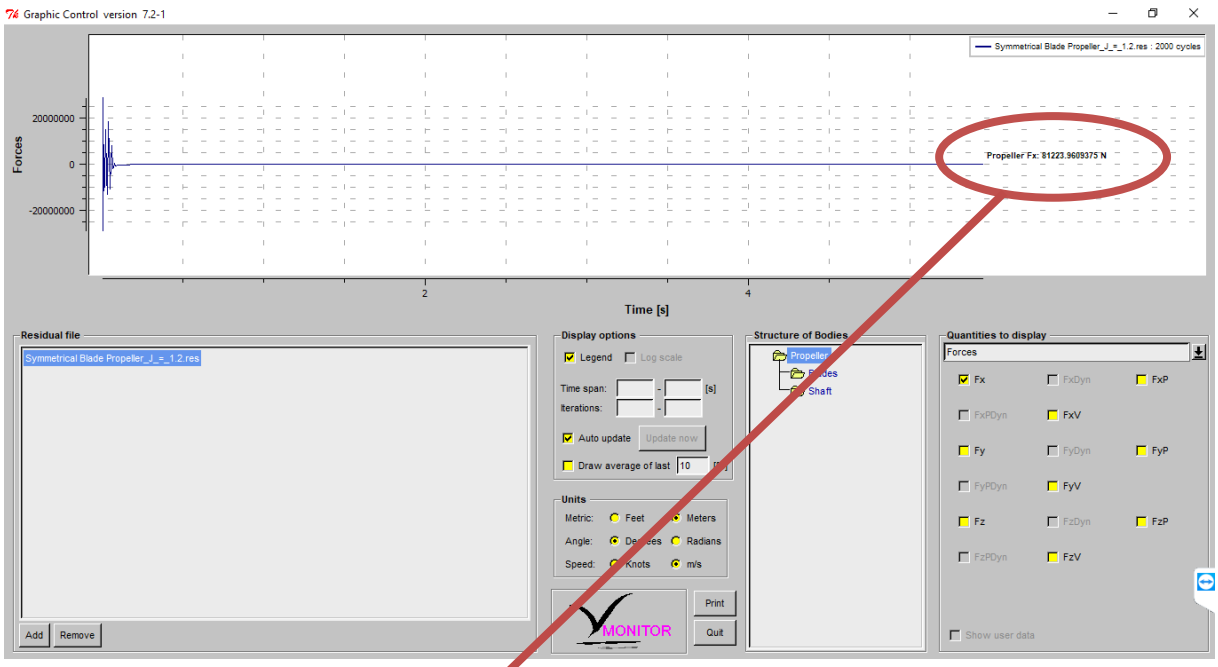
b. *Torque*

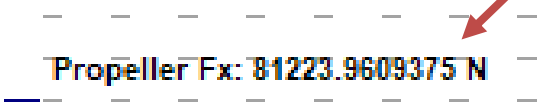


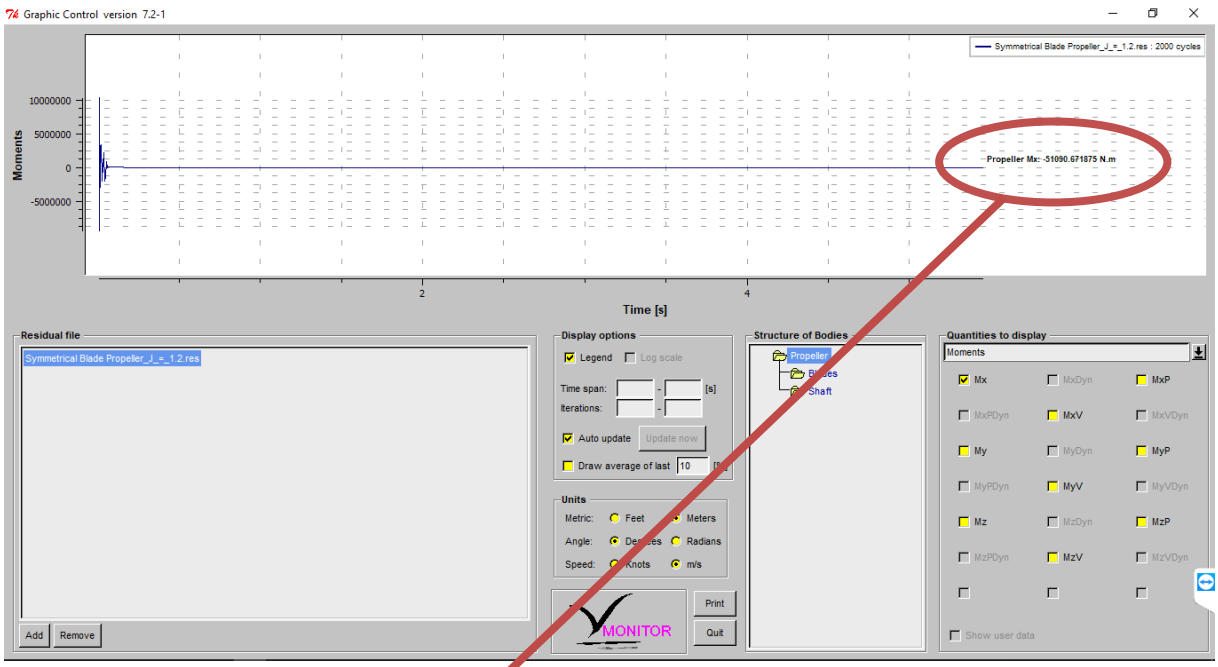
Nilai *Thrust* dan *Torque* simulasi *Symmetrical Blade Propeller* (J = 1.2)

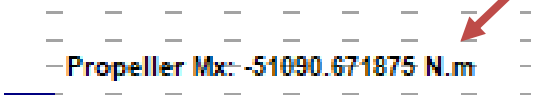
a. *Thrust*



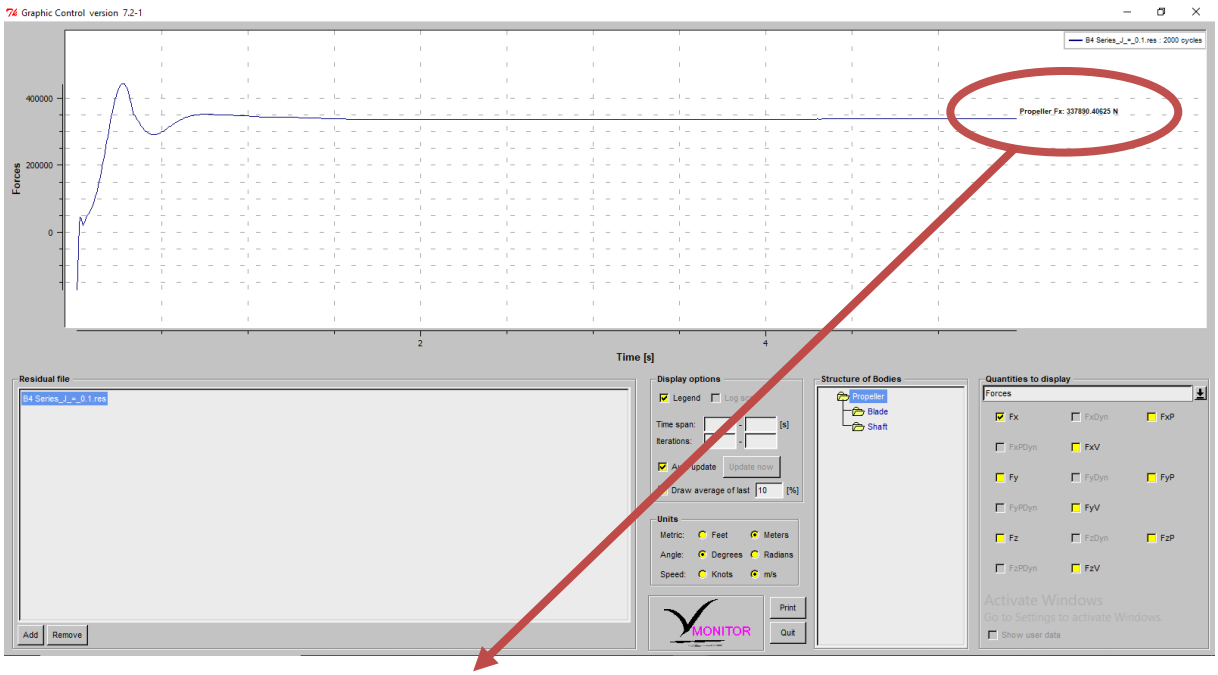

b. *Torque*



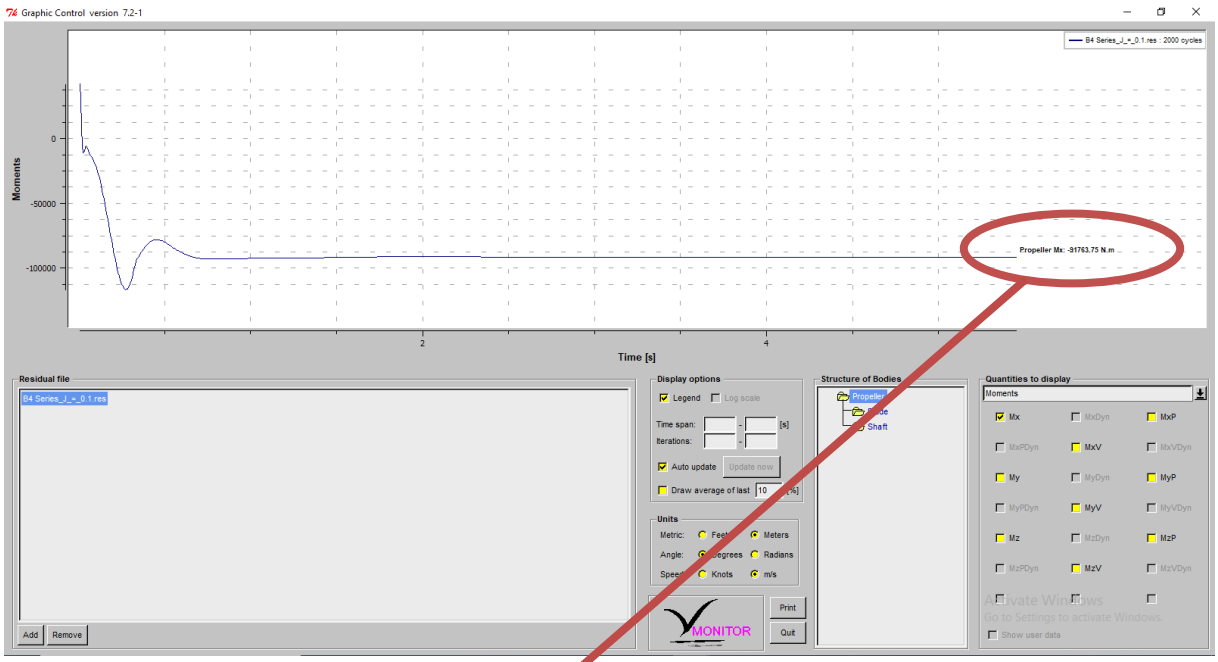
Nilai *Thrust* dan *Torque* simulasi *B Series Propeller* (J = 0.1)

a. *Thrust*




Propeller Fx: 337890.40625 N

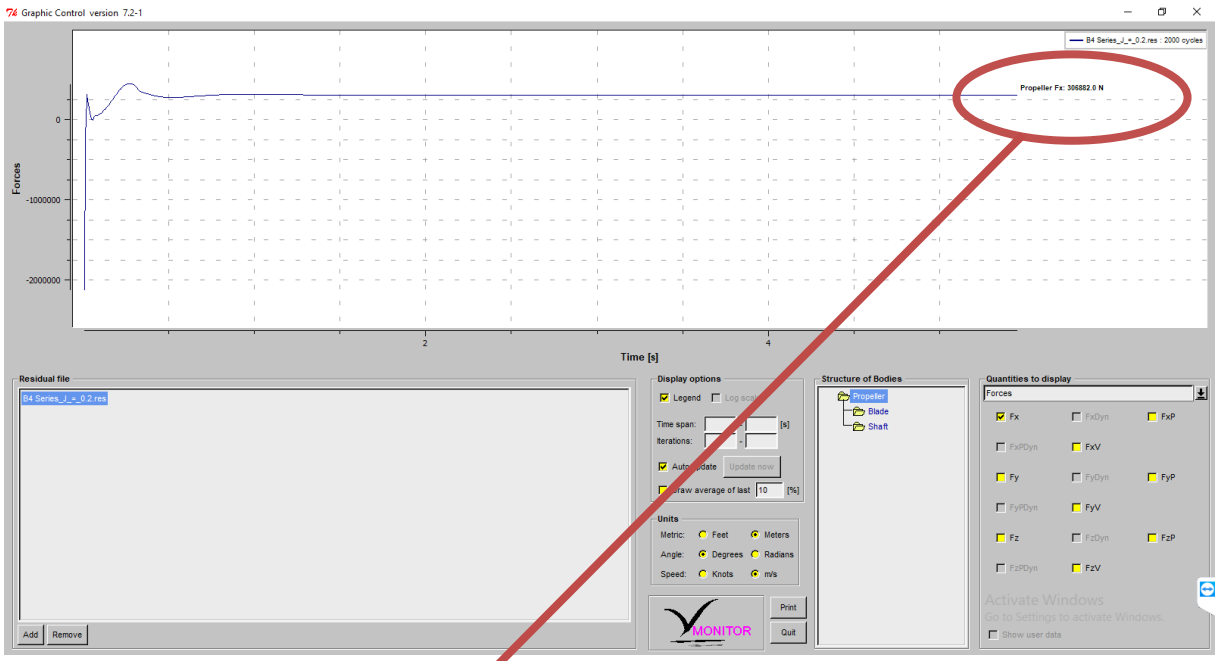
b. *Torque*




Propeller Mx: -91763.75 N.m

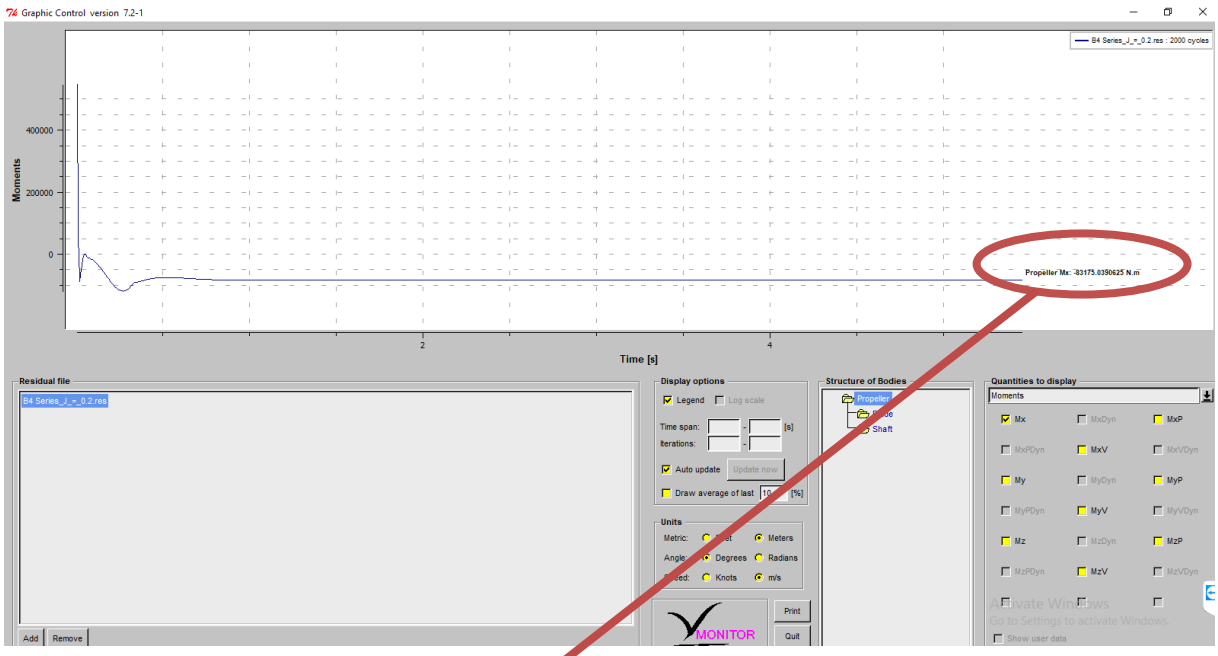
Nilai *Thrust* dan *Torque* simulasi *B Series Propeller* (J = 0.2)

a. *Thrust*




Propeller Fx: 306882.0 N

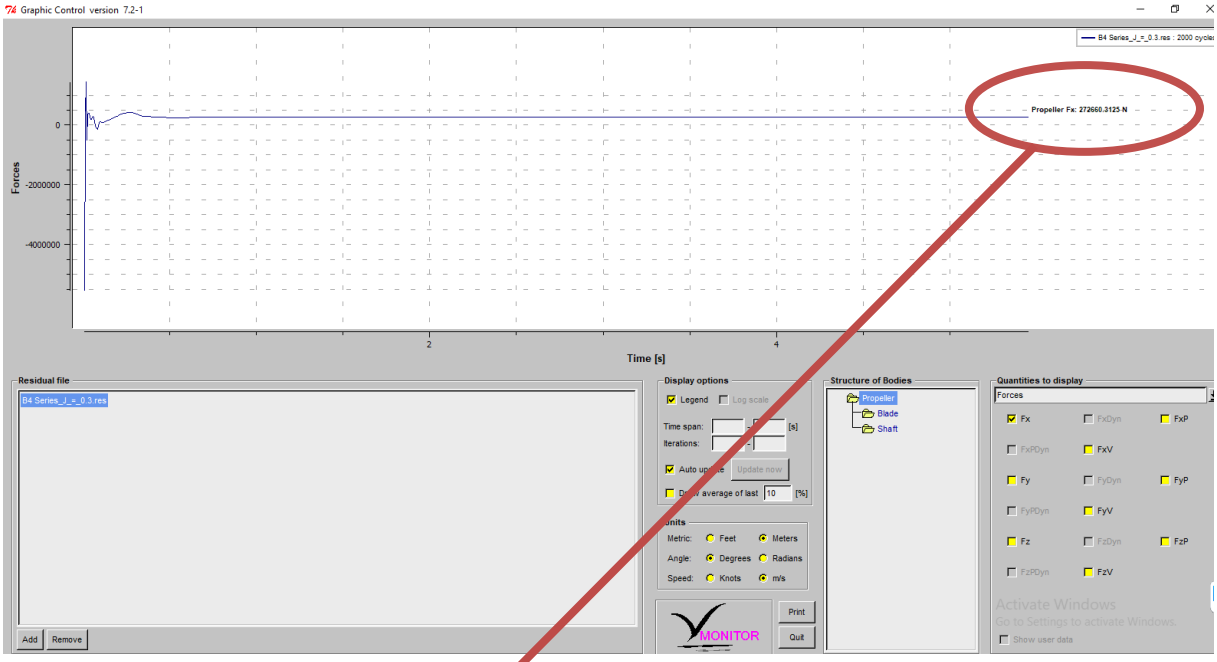
b. *Torque*




Propeller Mx: -83175.0390625 N.m

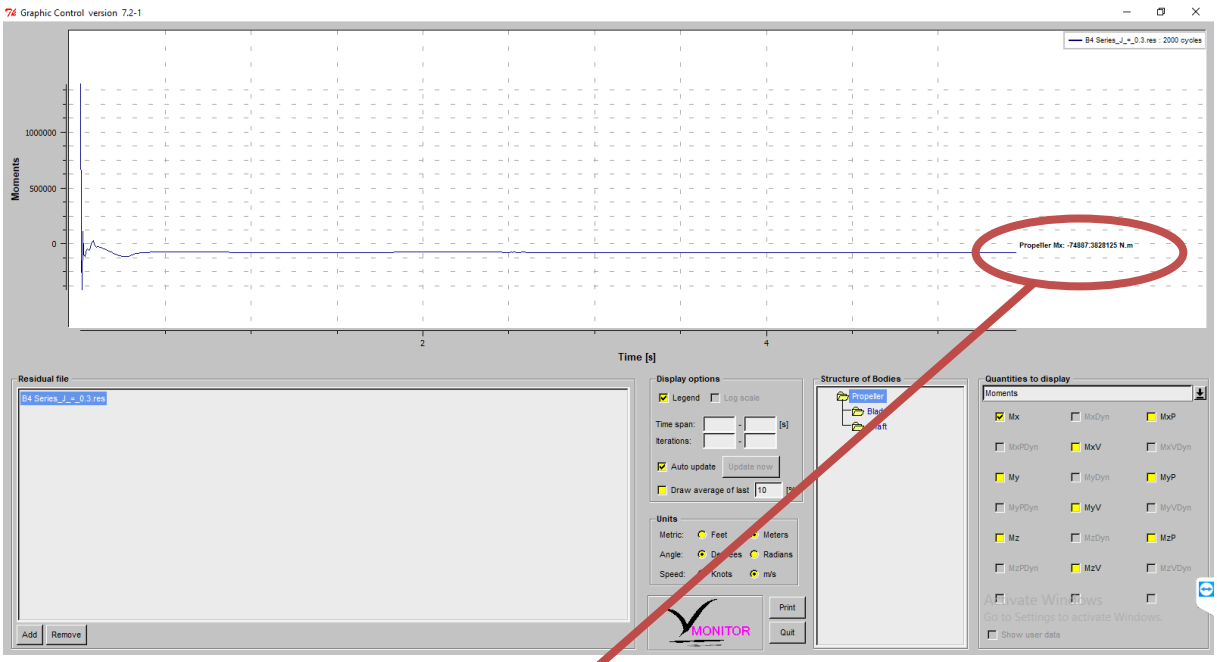
Nilai *Thrust* dan *Torque* simulasi *B Series Propeller* (J = 0.3)

a. *Thrust*




Propeller Fx: 272660.3125 N

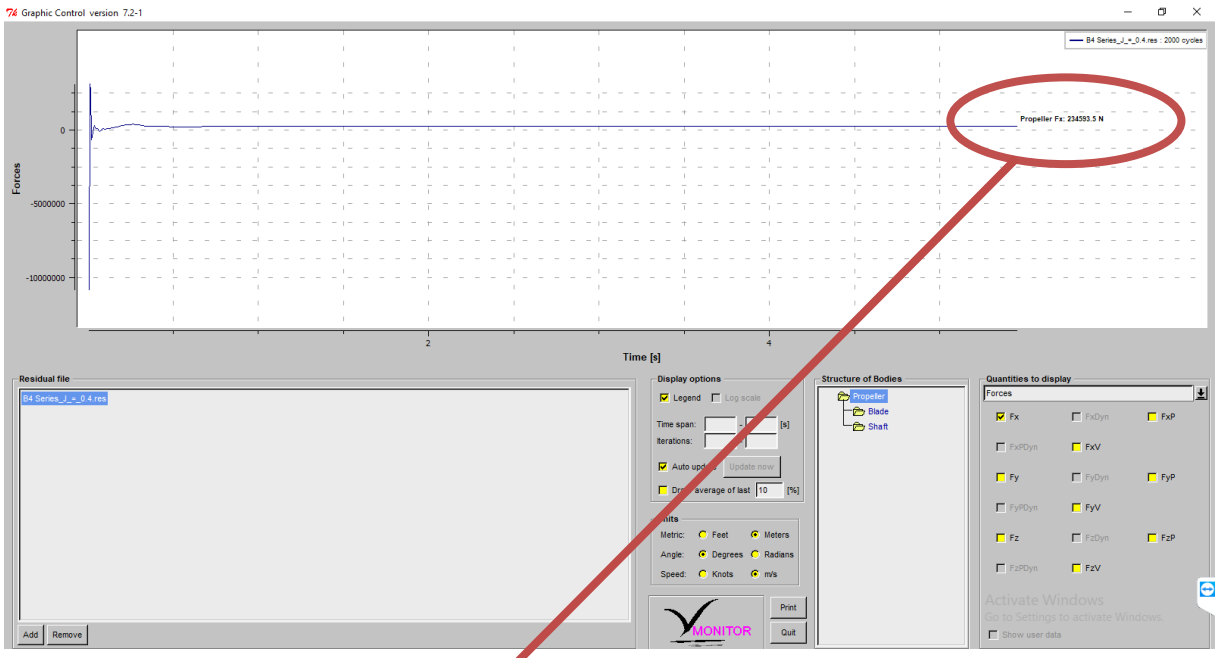
b. *Torque*

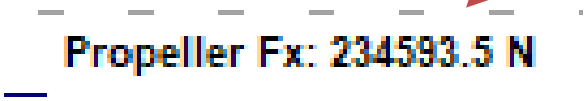



Propeller Mx: -74887.3828125 N.m

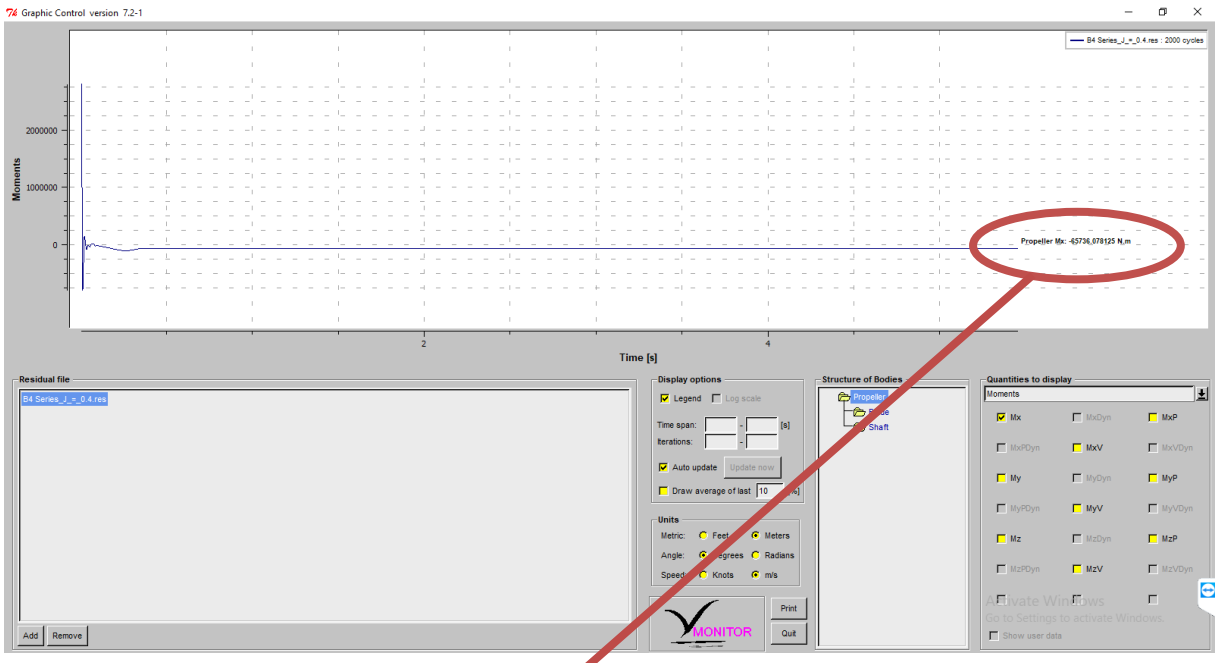
Nilai *Thrust* dan *Torque* simulasi *B Series Propeller* (J = 0.4)

a. *Thrust*



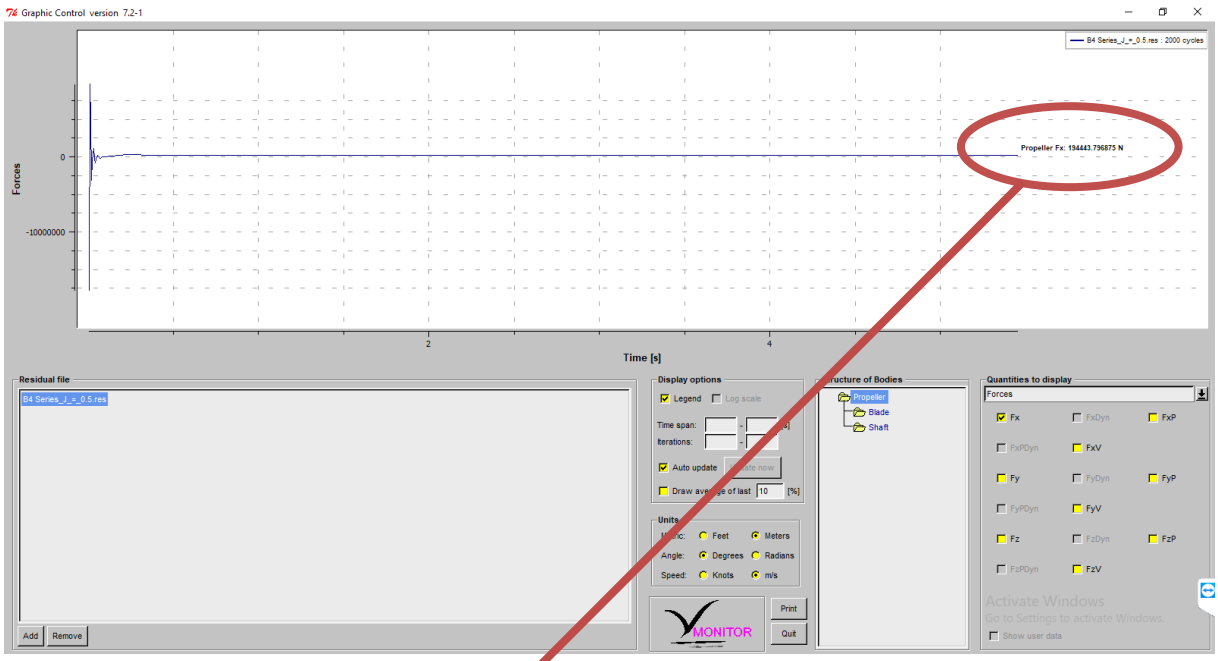




b. *Torque*



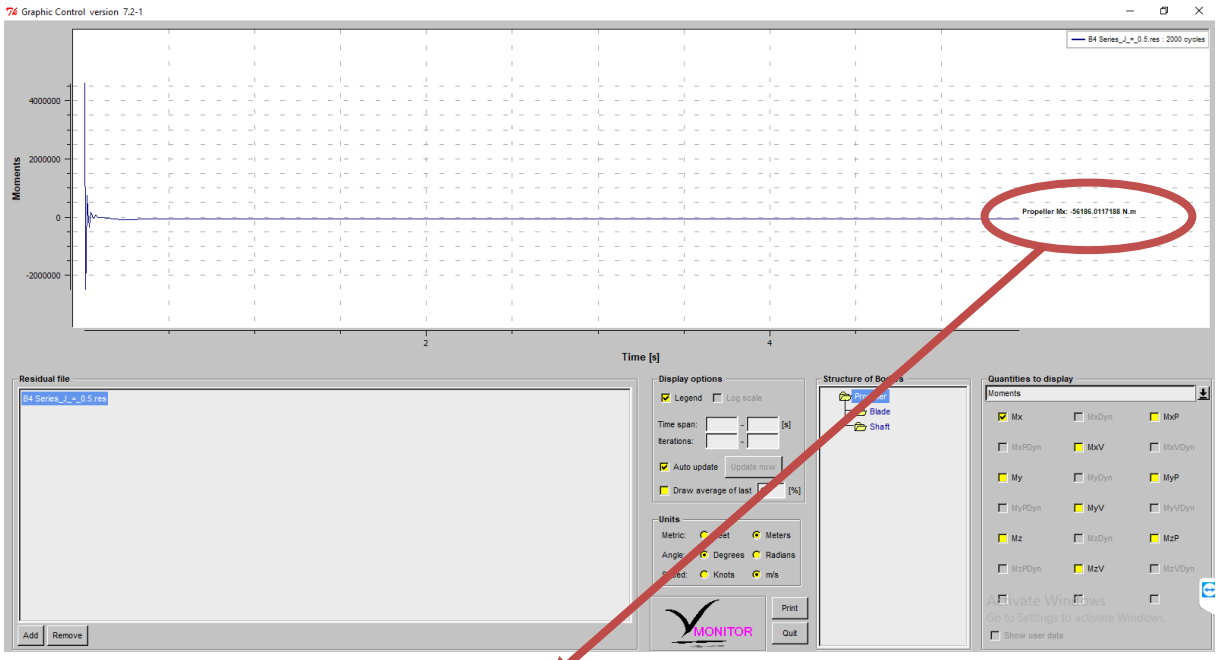
Nilai *Thrust* dan *Torque* simulasi *B Series Propeller* (J = 0.5)

a. *Thrust*




Propeller Fx: 194443.796875 N

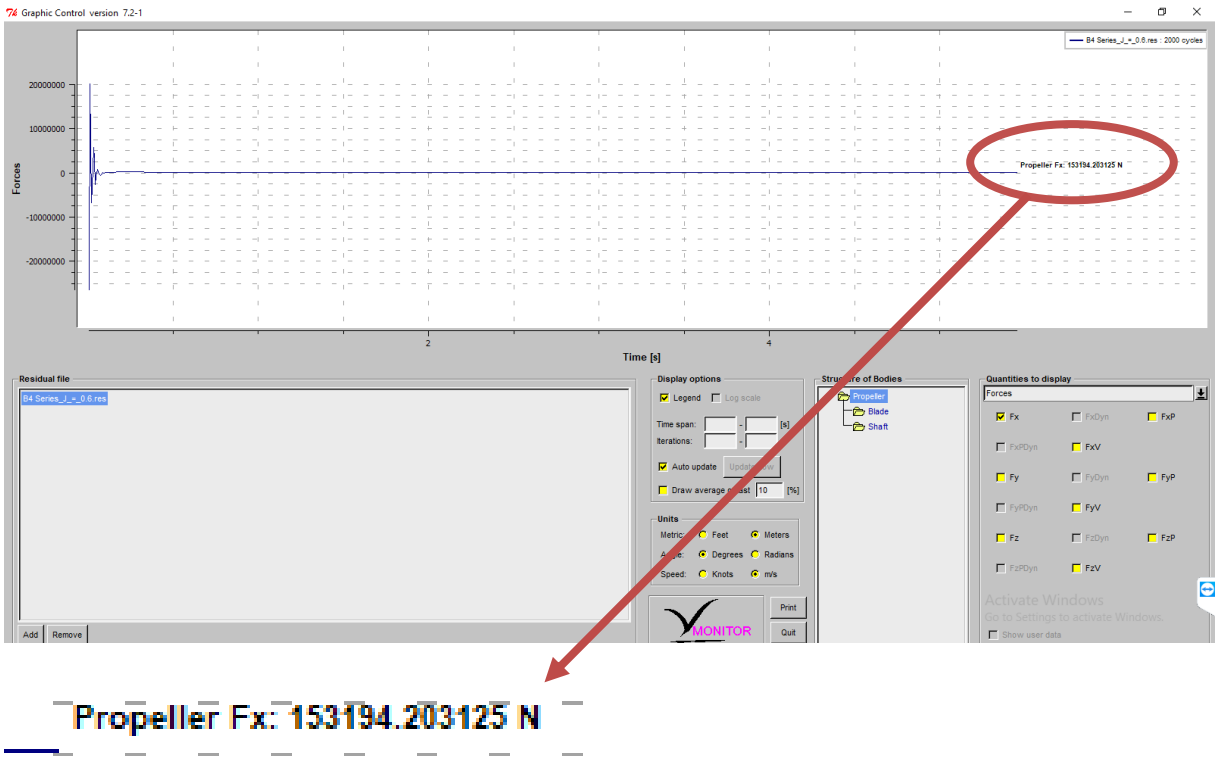
b. *Torque*




Propeller Mx: -56186.0117188 N.m

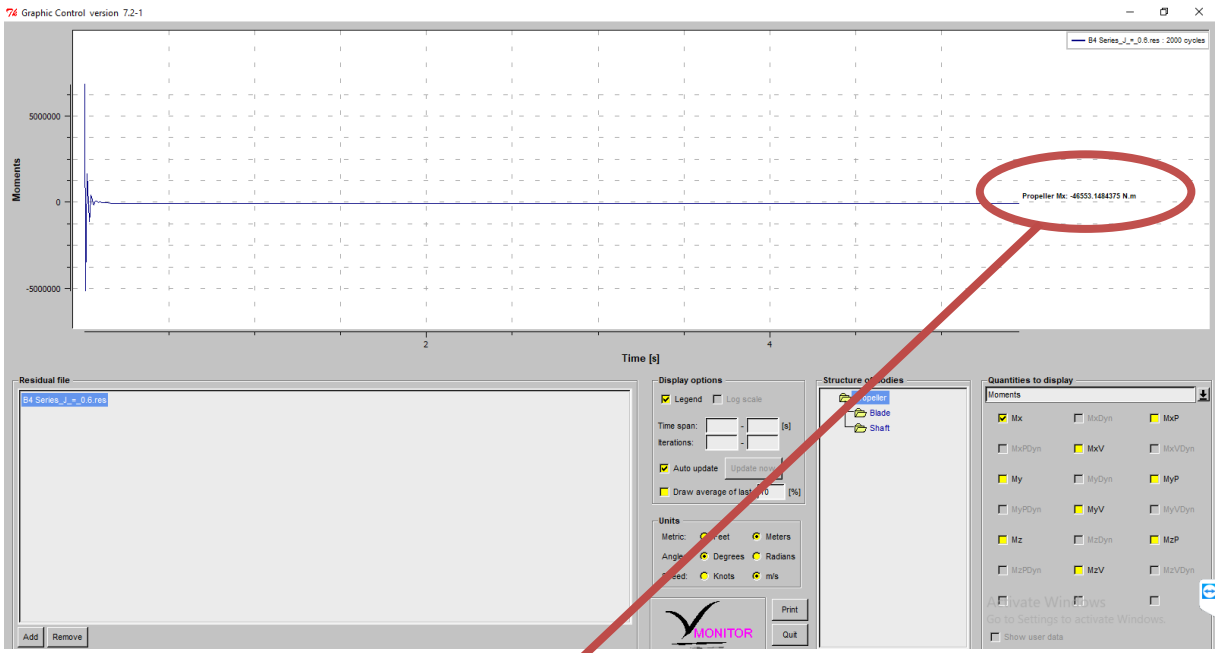
Nilai *Thrust* dan *Torque* simulasi *B Series Propeller* (J = 0.6)

a. *Thrust*




Propeller Fx: 153194.203125 N

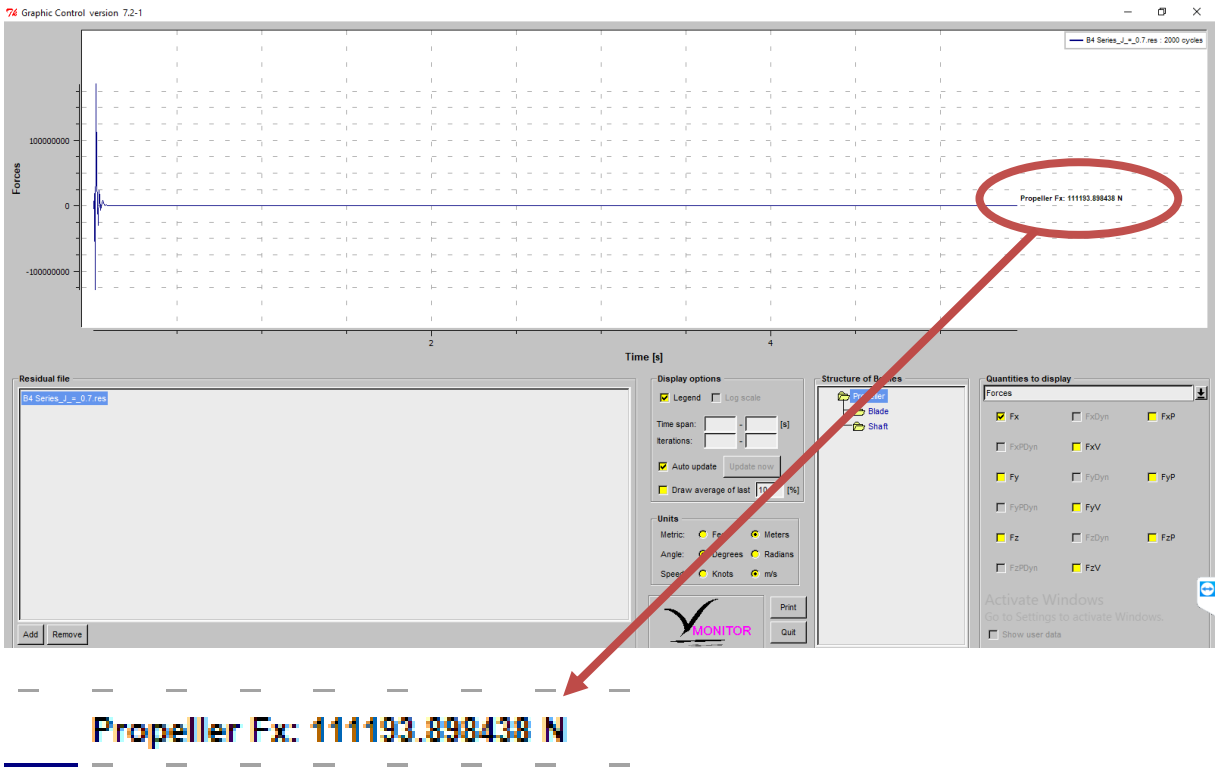
b. *Torque*




Propeller Mx: -46553.1484375 N.m

Nilai *Thrust* dan *Torque* simulasi *B Series Propeller* (J = 0.7)

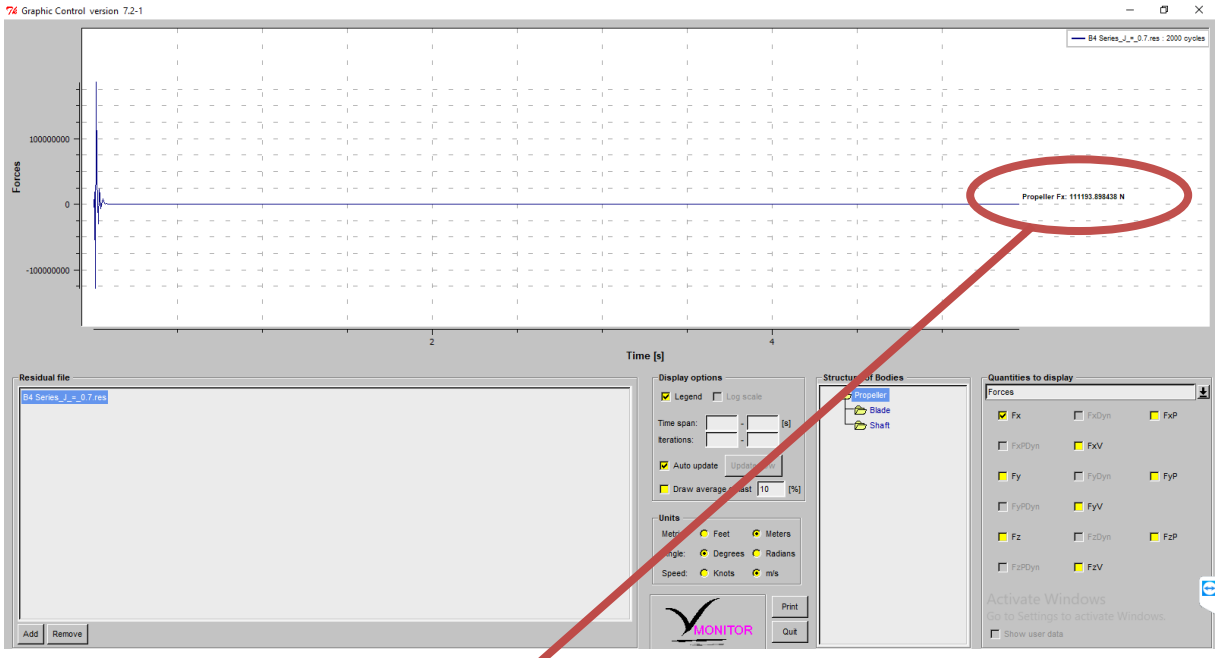
a. *Thrust*

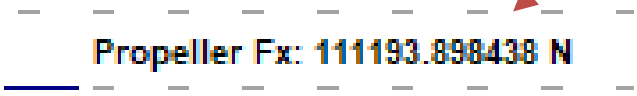






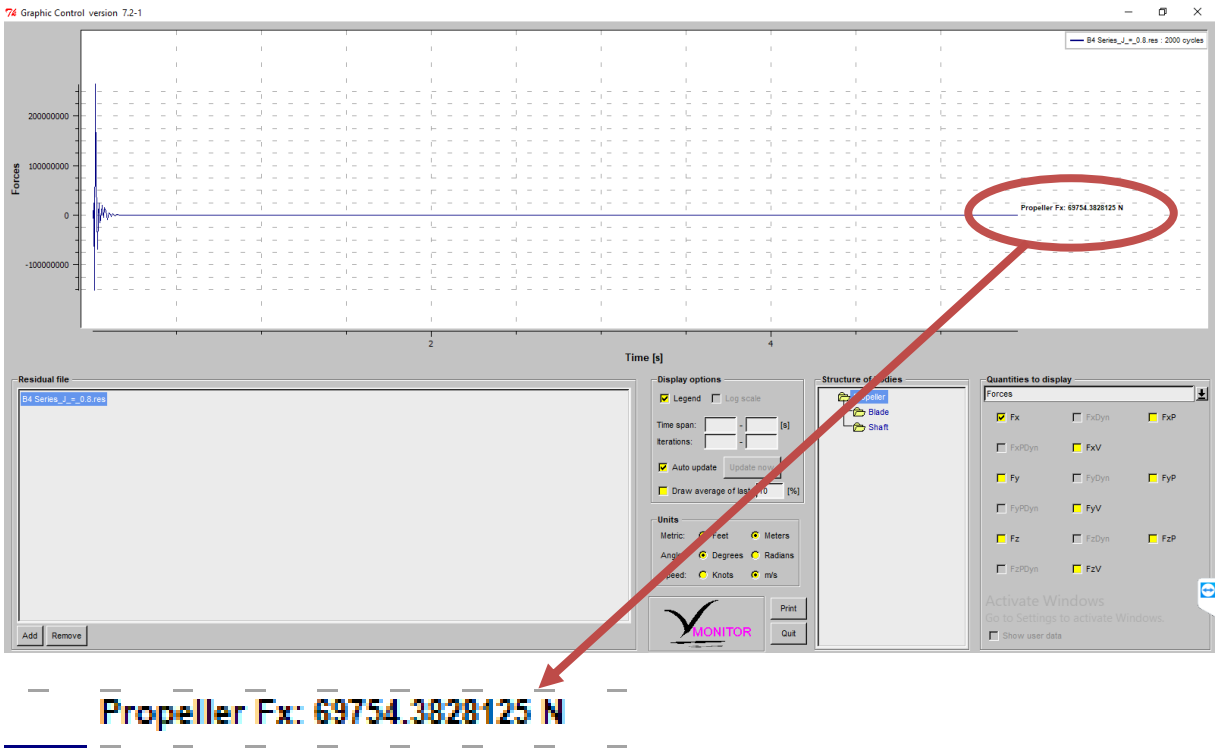
b. *Torque*



Nilai *Thrust* dan *Torque* simulasi *B Series Propeller* (J = 0.8)

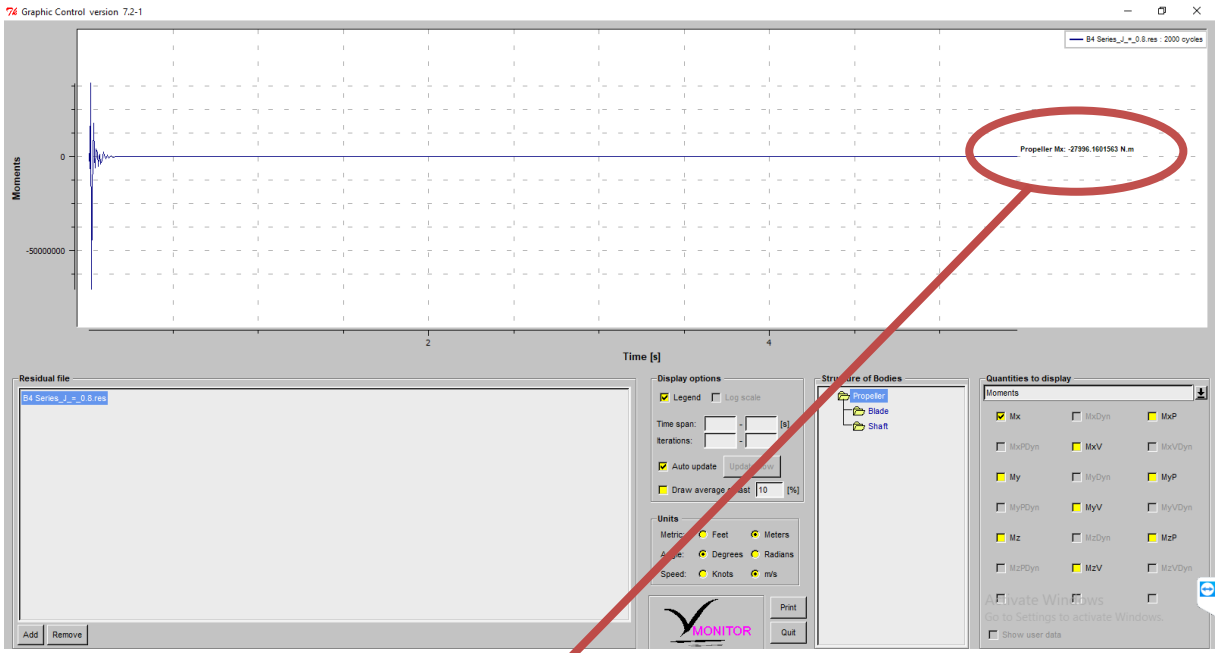
a. *Thrust*





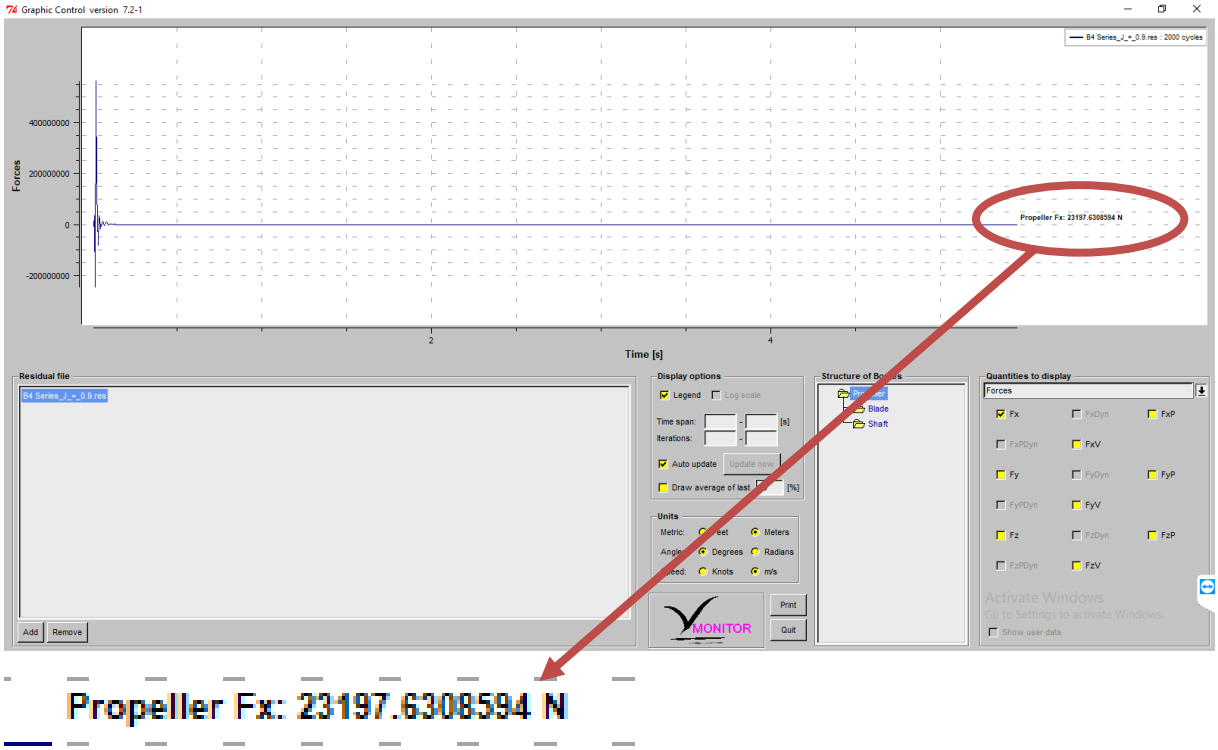


b. *Torque*



Nilai *Thrust* dan *Torque* simulasi *B Series Propeller* (J = 0.9)

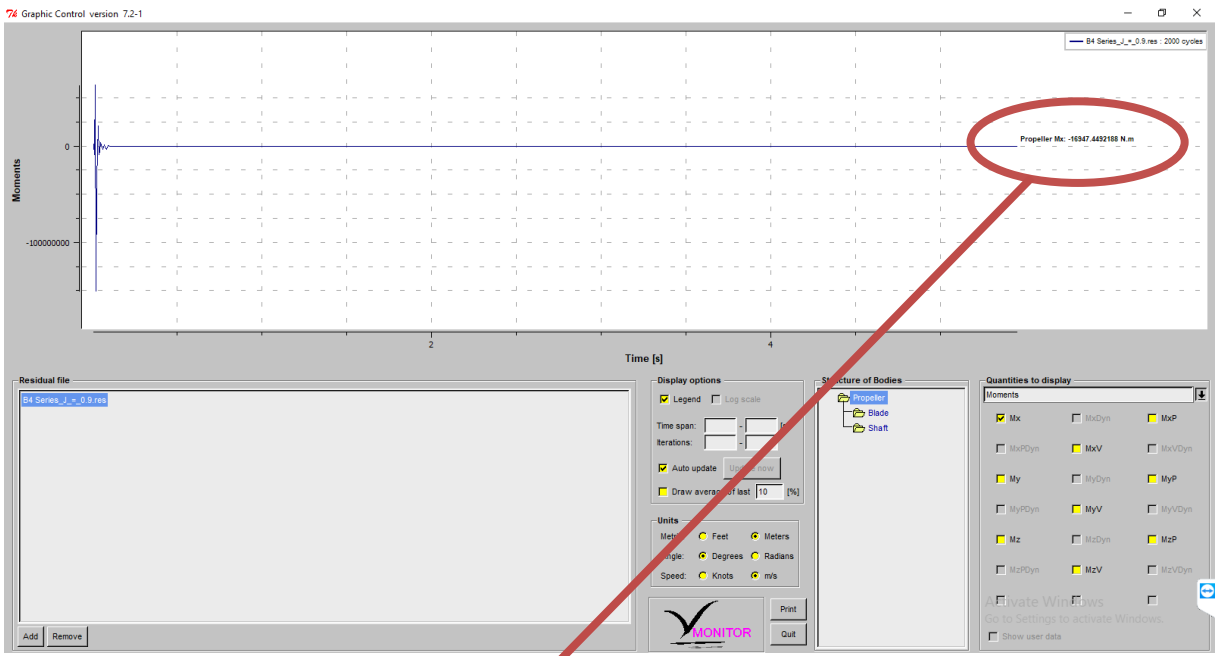
a. *Thrust*





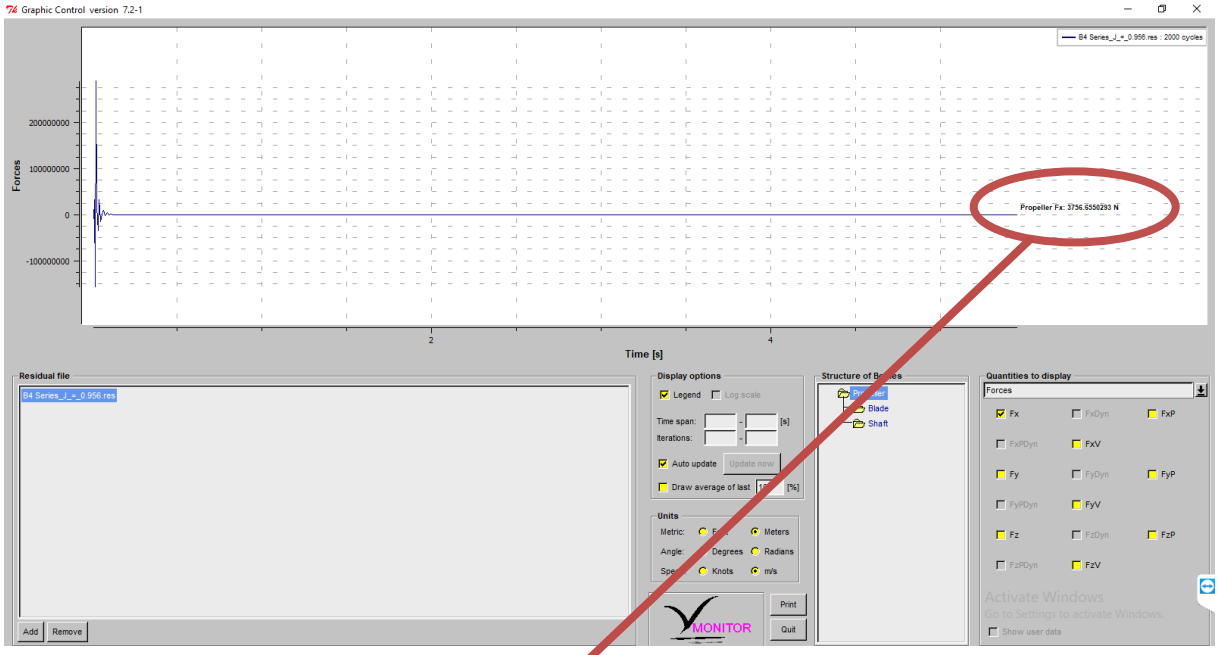


b. *Torque*



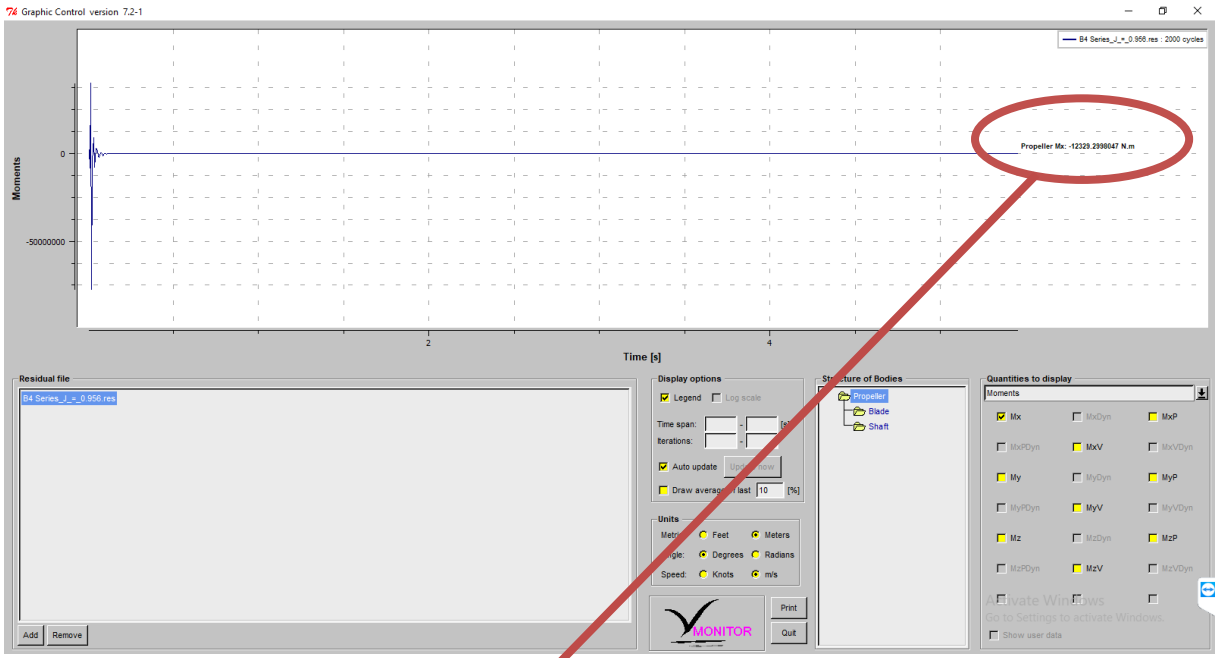
Nilai *Thrust* dan *Torque* simulasi *B Series Propeller* (J = 0.956)

a. *Thrust*




Propeller Fx: 3756.6550293 N

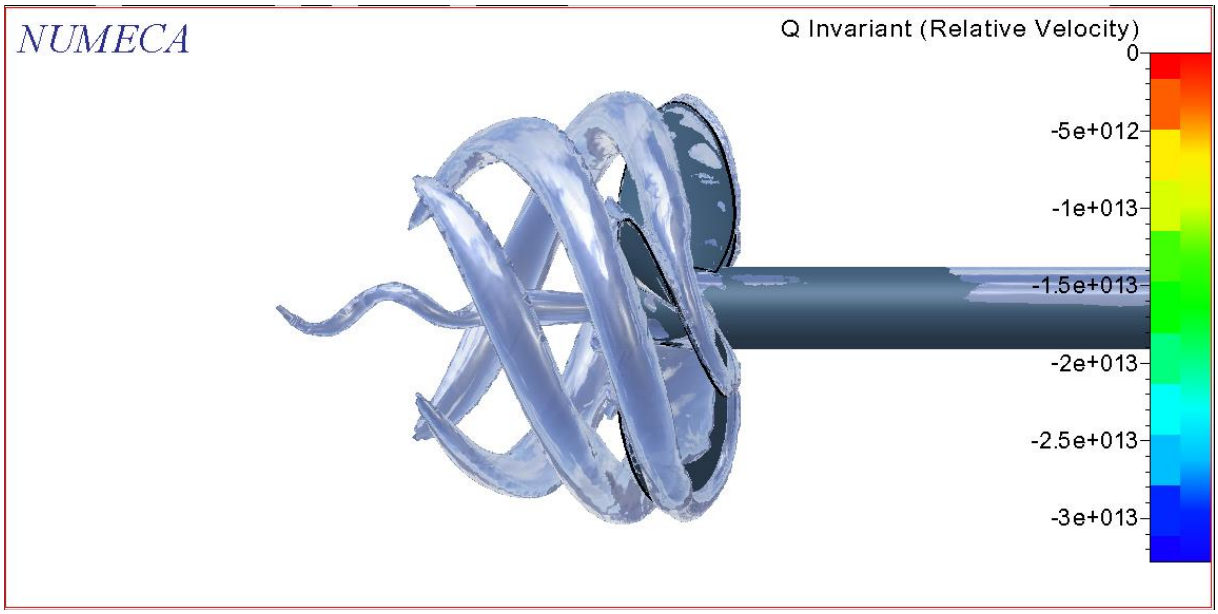
b. *Torque*



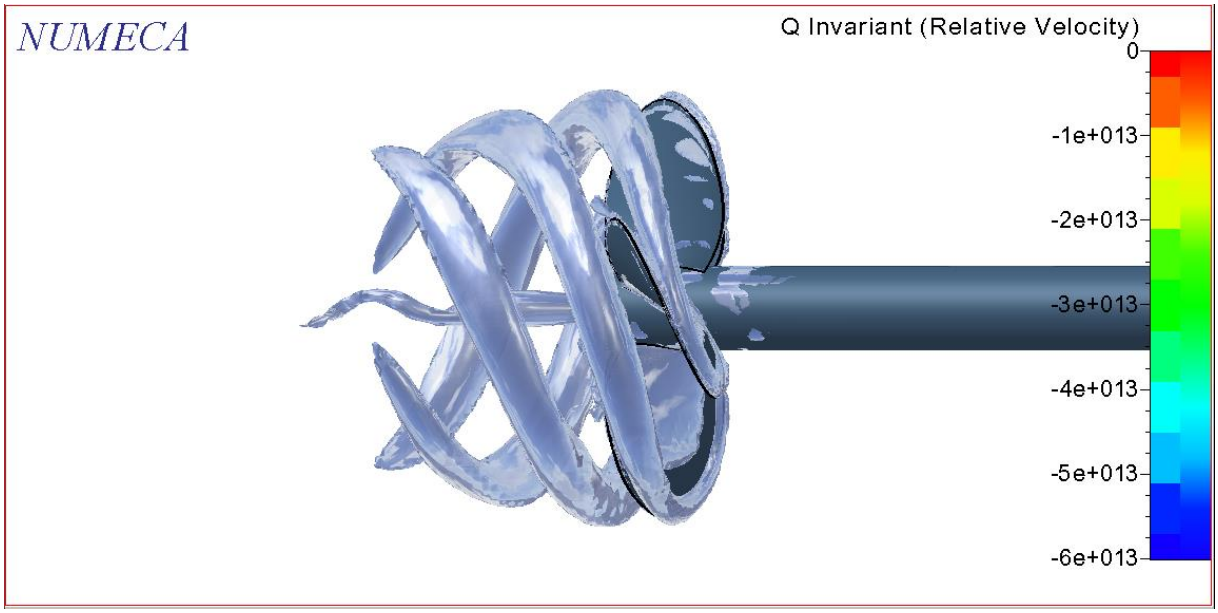

Propeller Mx: -12329.2998047 N.m

# LAMPIRAN B
# VISUALISASI ALIRAN

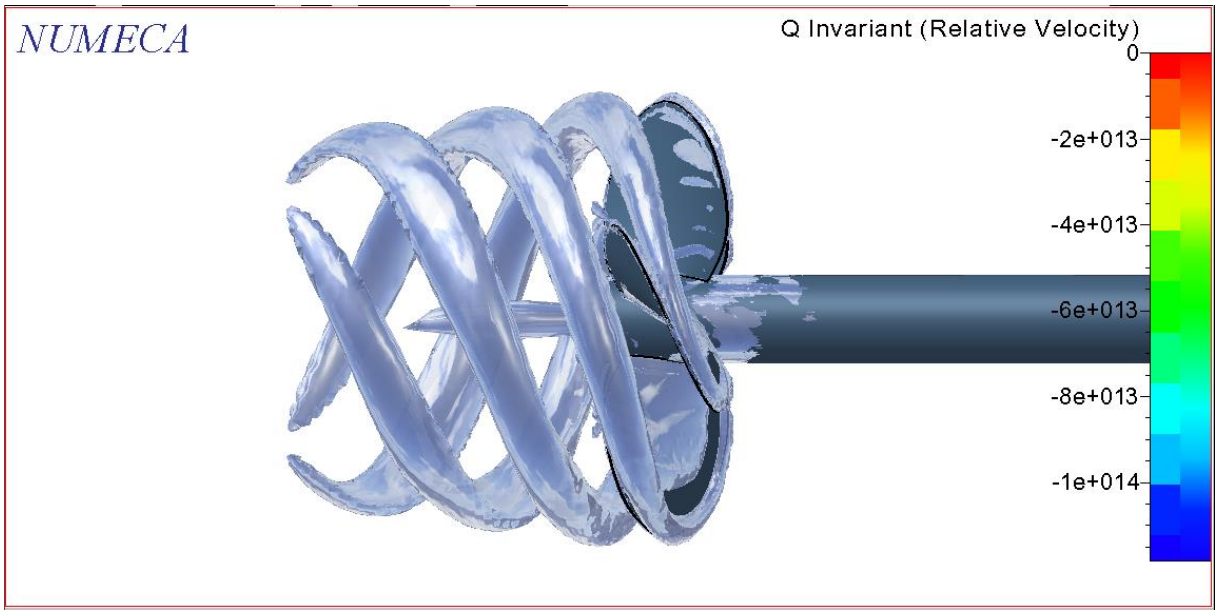
**Visualisasi Aliran *Symmetrical Blade Propeller* J = 0.1**



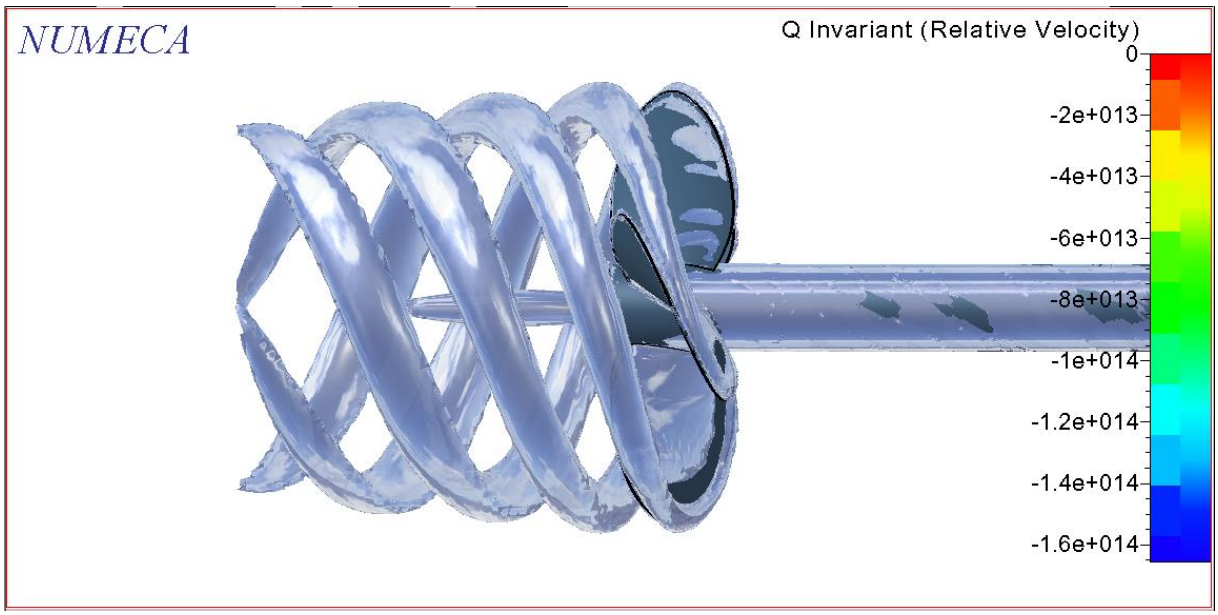

**Visualisasi Aliran *Symmetrical Blade Propeller* J = 0.2**



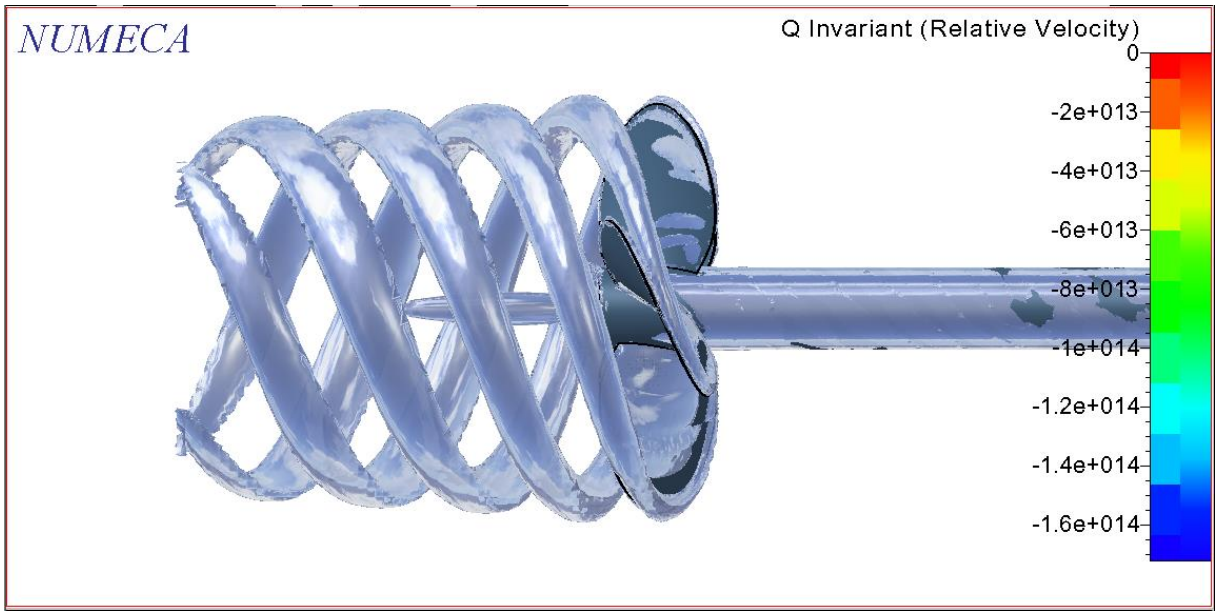
**Visualisasi Aliran *Symmetrical Blade Propeller* J = 0.3**



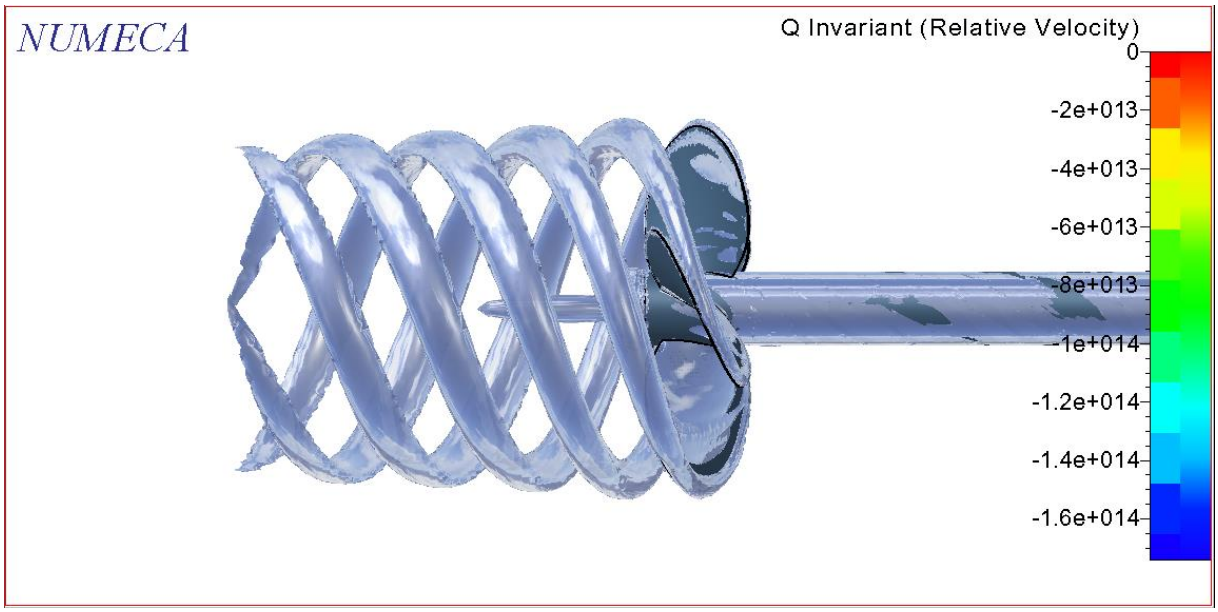

**Visualisasi Aliran *Symmetrical Blade Propeller* J = 0.4**



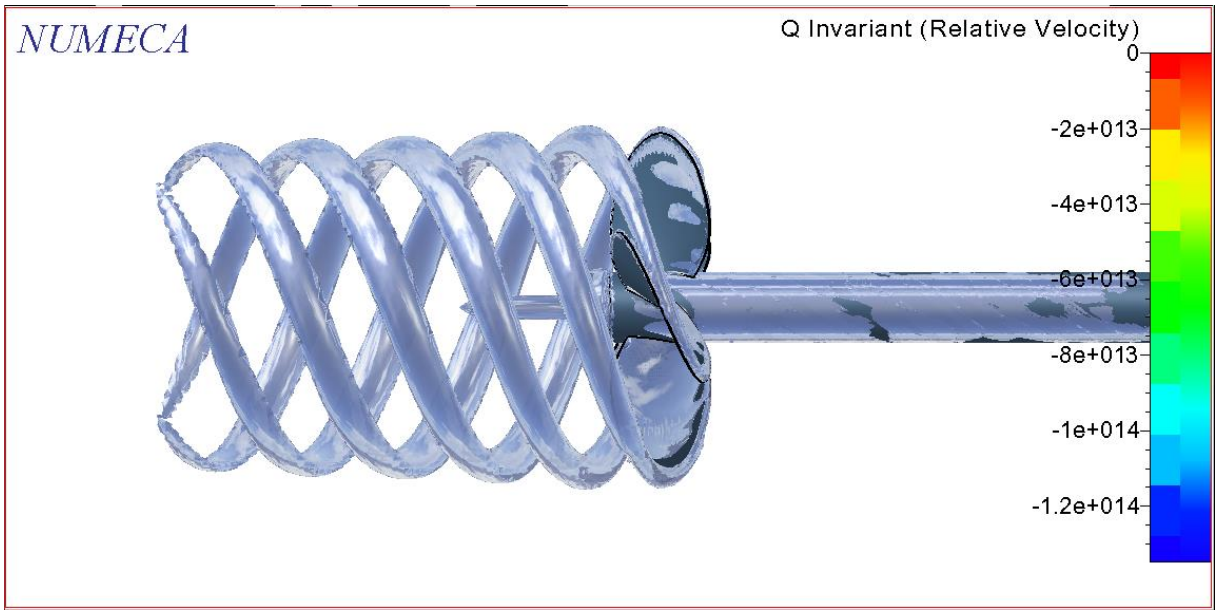
**Visualisasi Aliran *Symmetrical Blade Propeller* J = 0.5**



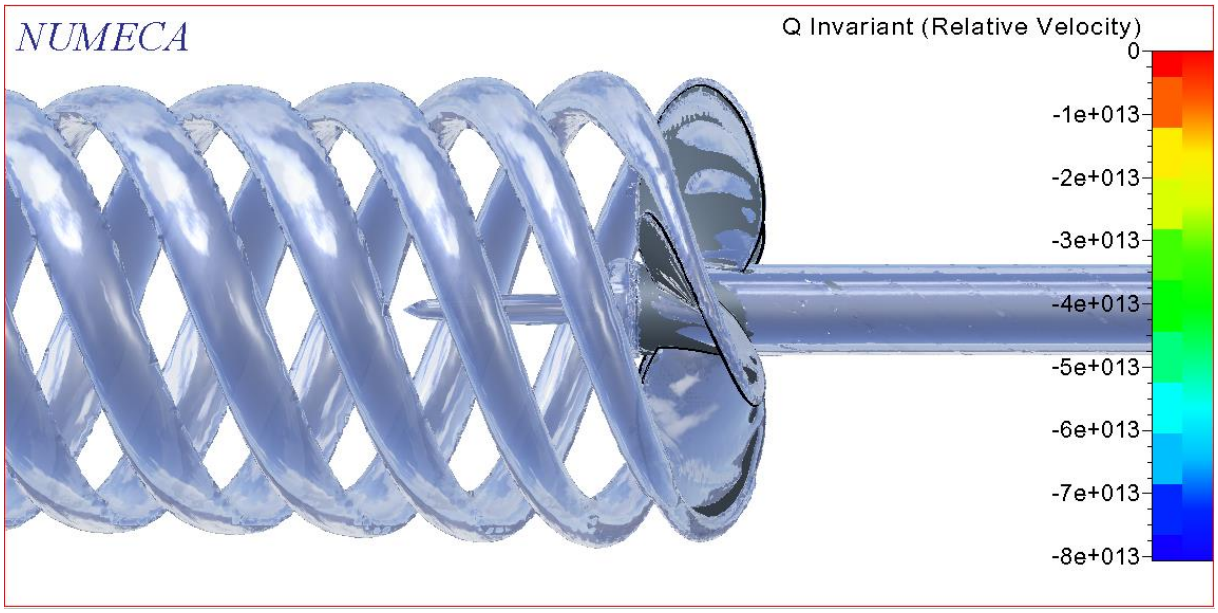

**Visualisasi Aliran *Symmetrical Blade Propeller* J = 0.6**



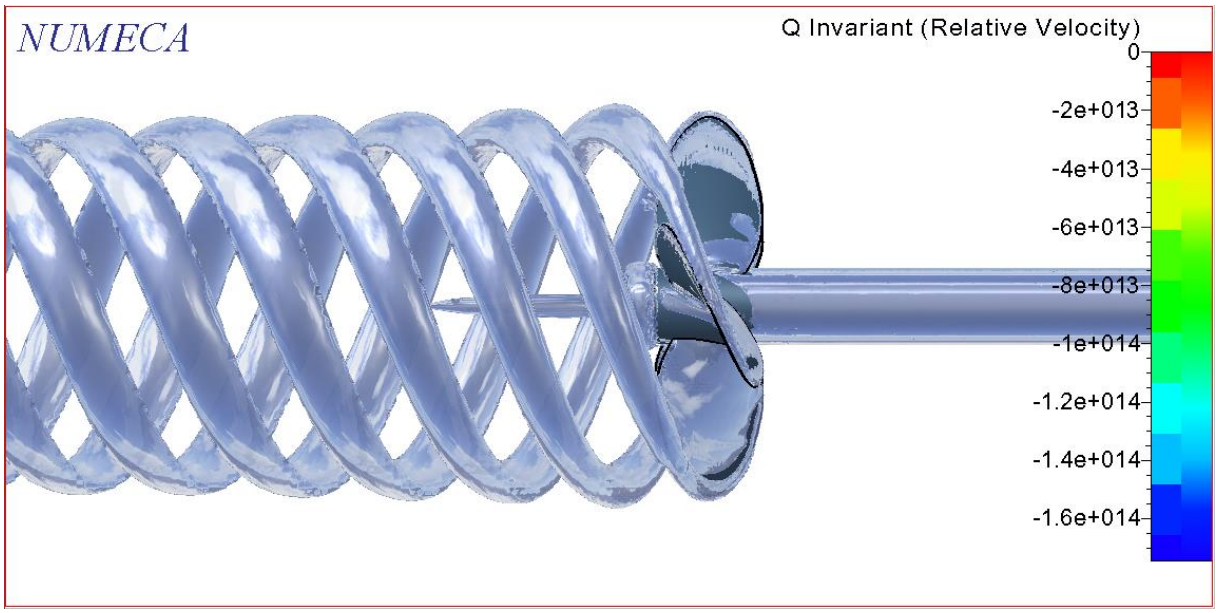
**Visualisasi Aliran *Symmetrical Blade Propeller* J = 0.7**



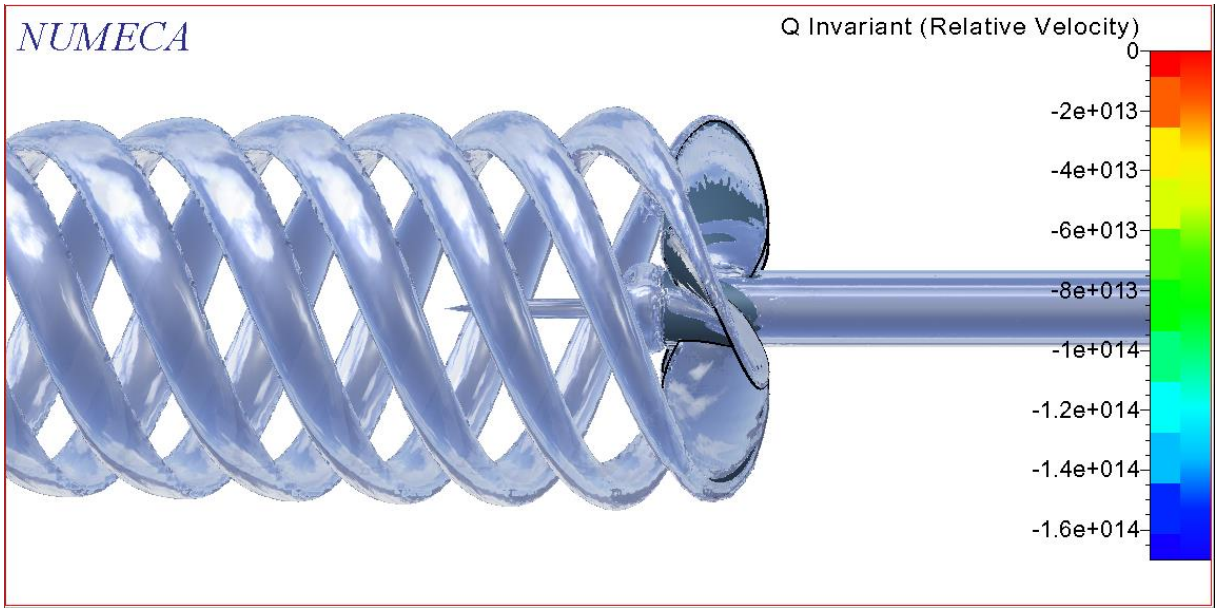

**Visualisasi Aliran *Symmetrical Blade Propeller* J = 0.8**



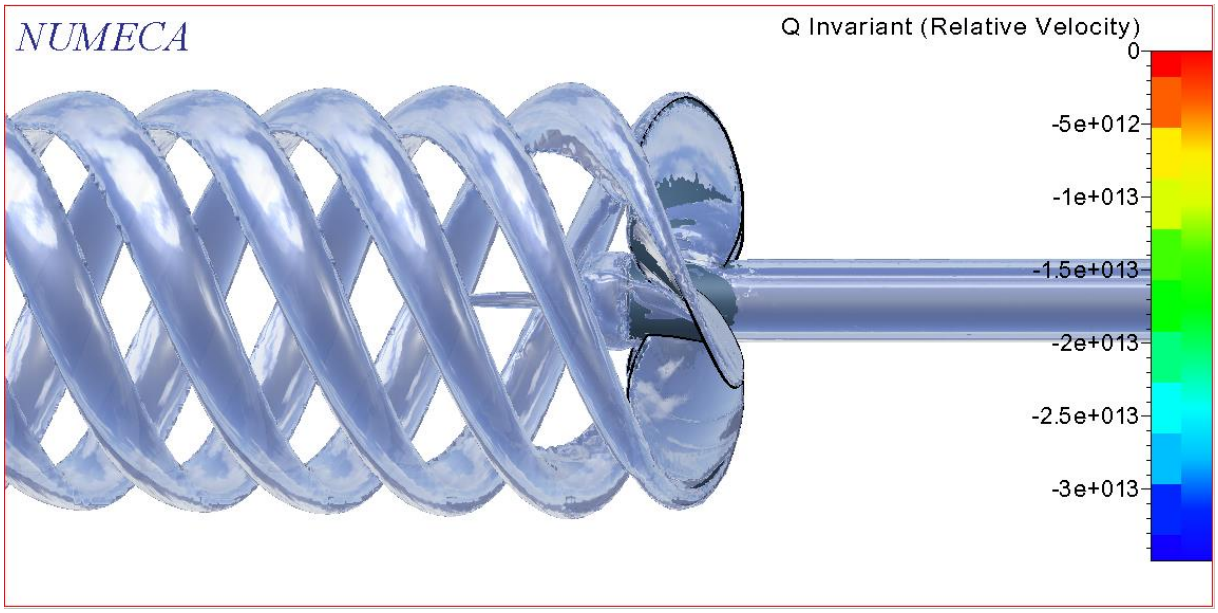
**Visualisasi Aliran *Symmetrical Blade Propeller* J = 0.9**



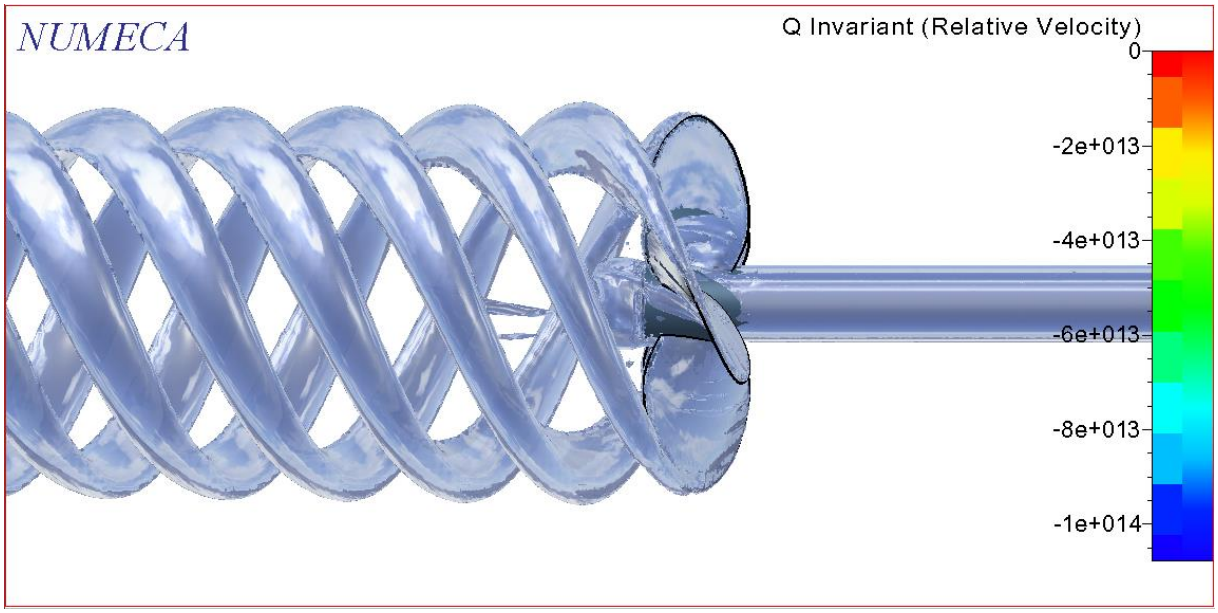

**Visualisasi Aliran *Symmetrical Blade Propeller* J = 1**



**Visualisasi Aliran *Symmetrical Blade Propeller* J = 1.1**

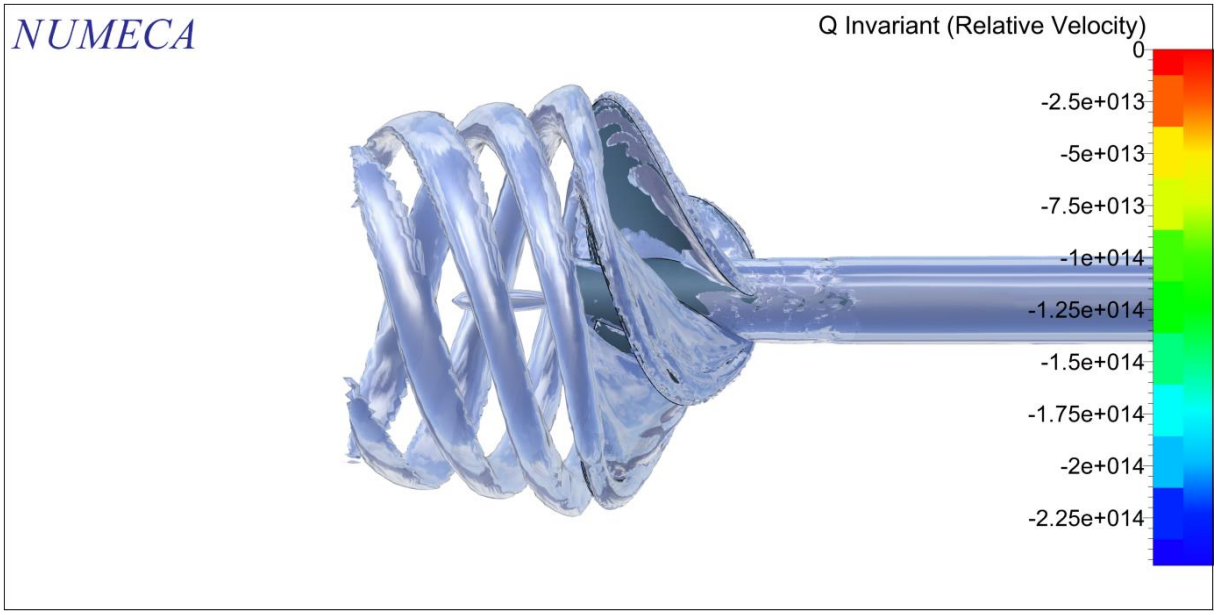



**Visualisasi Aliran *Symmetrical Blade Propeller* J = 1.2**

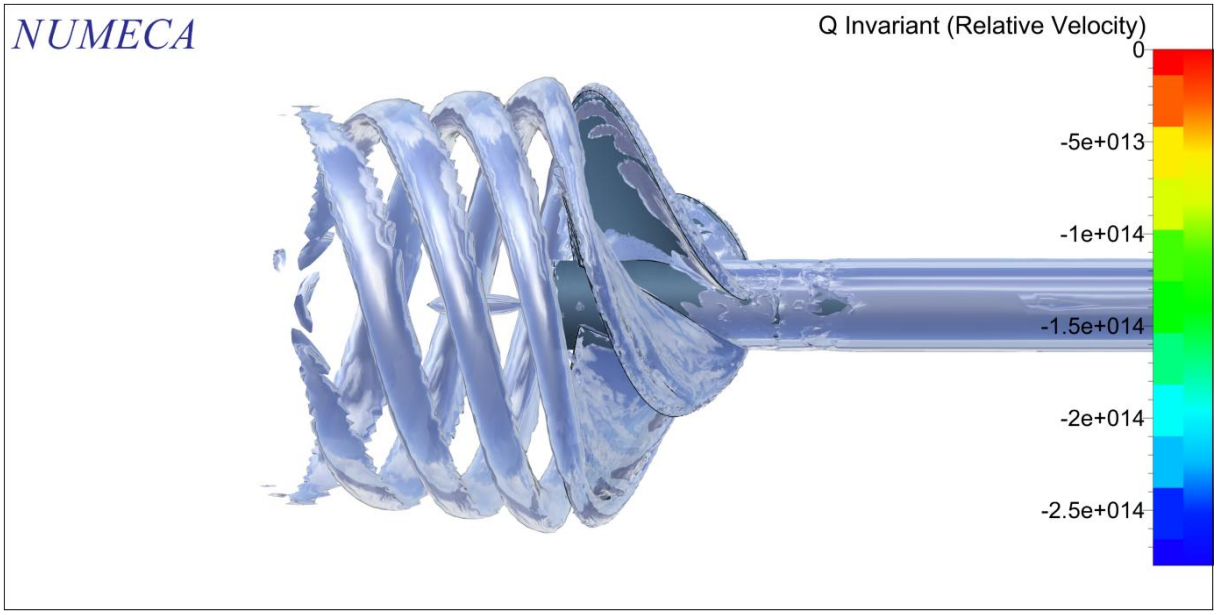


**Visualisasi Aliran *B Series Propeller* J = 0.1**

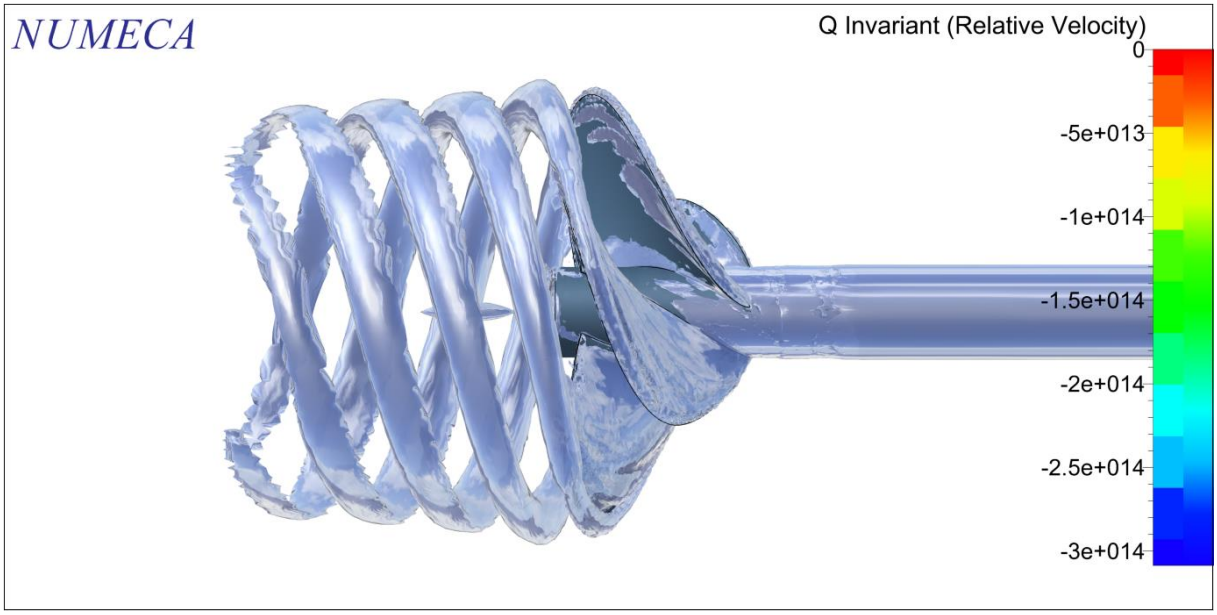
**Visualisasi Aliran *B Series Propeller* J = 0.2**



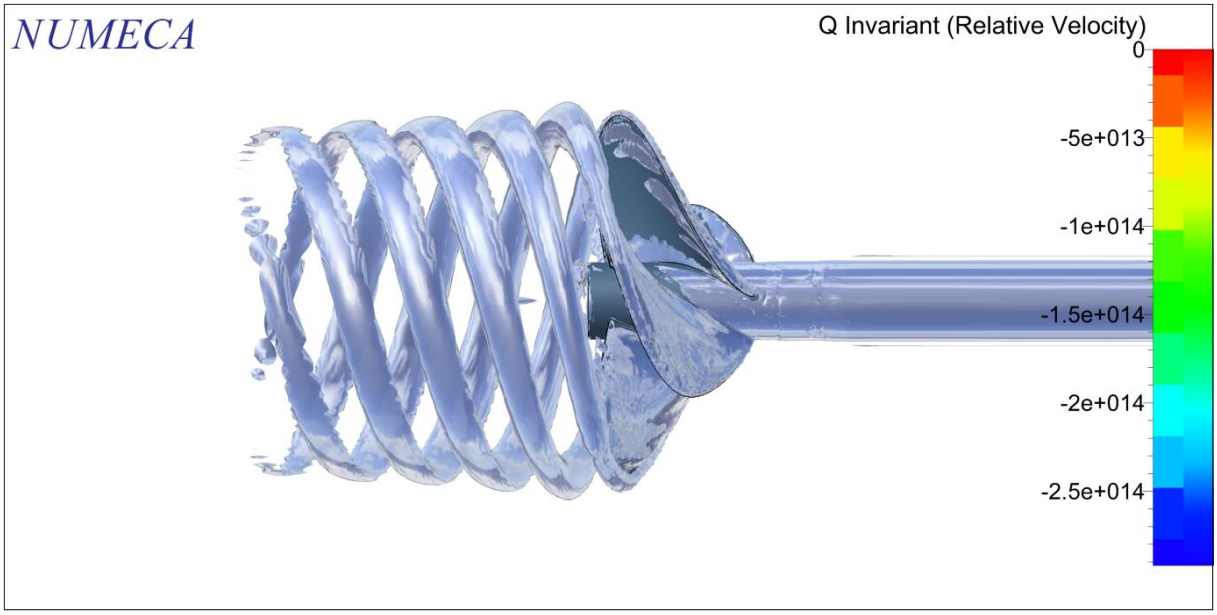
**Visualisasi Aliran *B Series Propeller* J = 0.3**



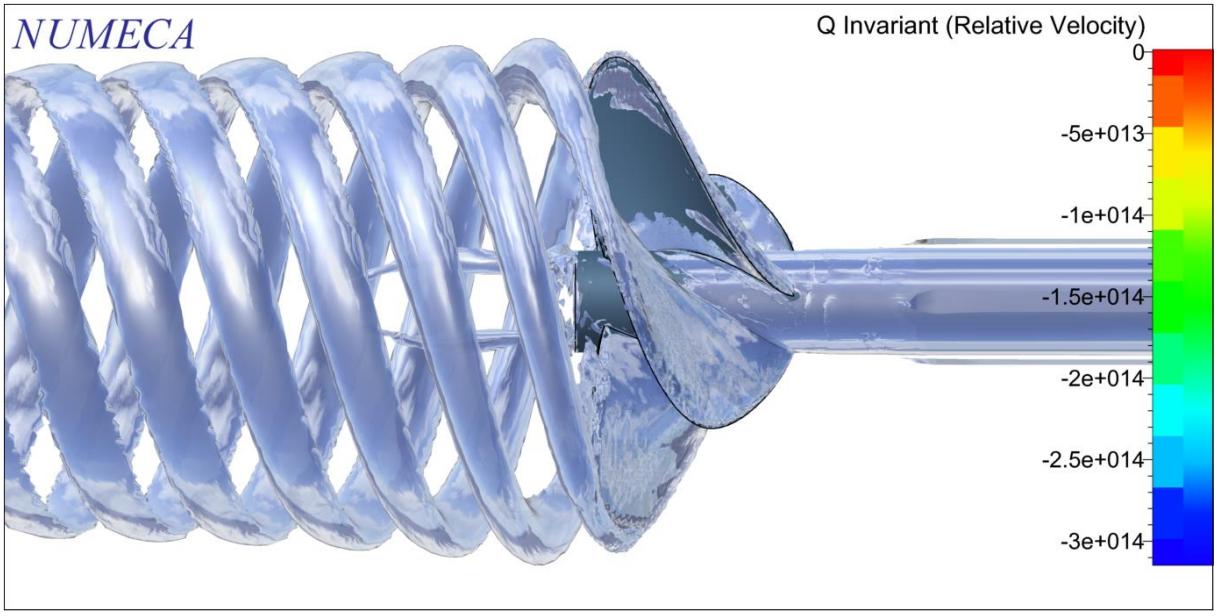

**Visualisasi Aliran *B Series Propeller* J = 0.4**



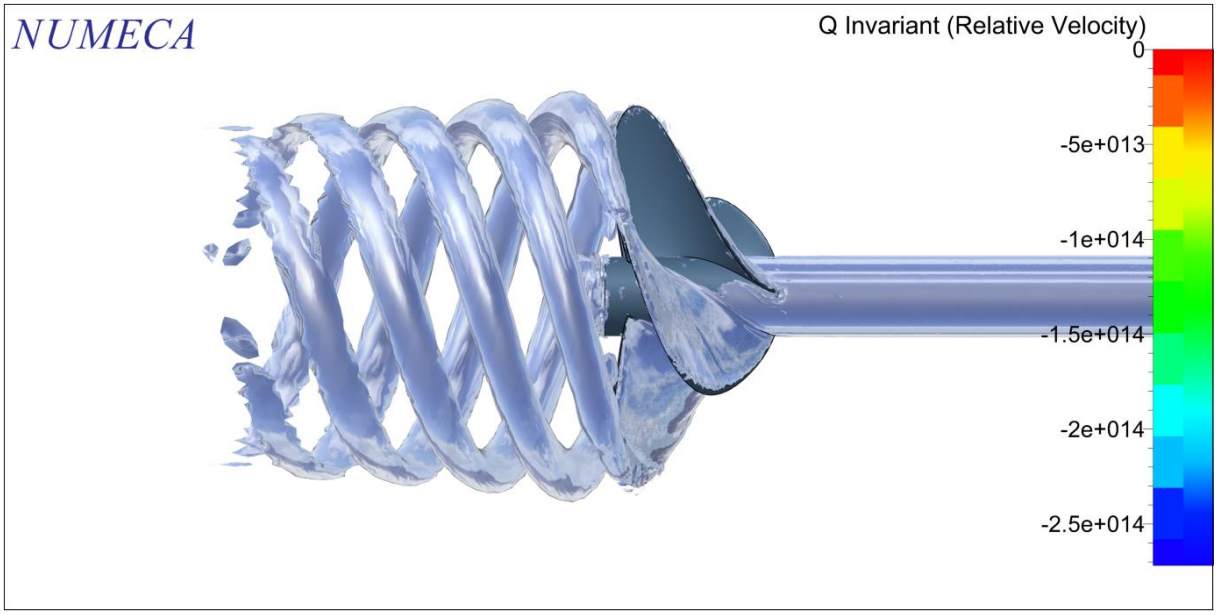
**Visualisasi Aliran *B Series Propeller* J = 0.5**



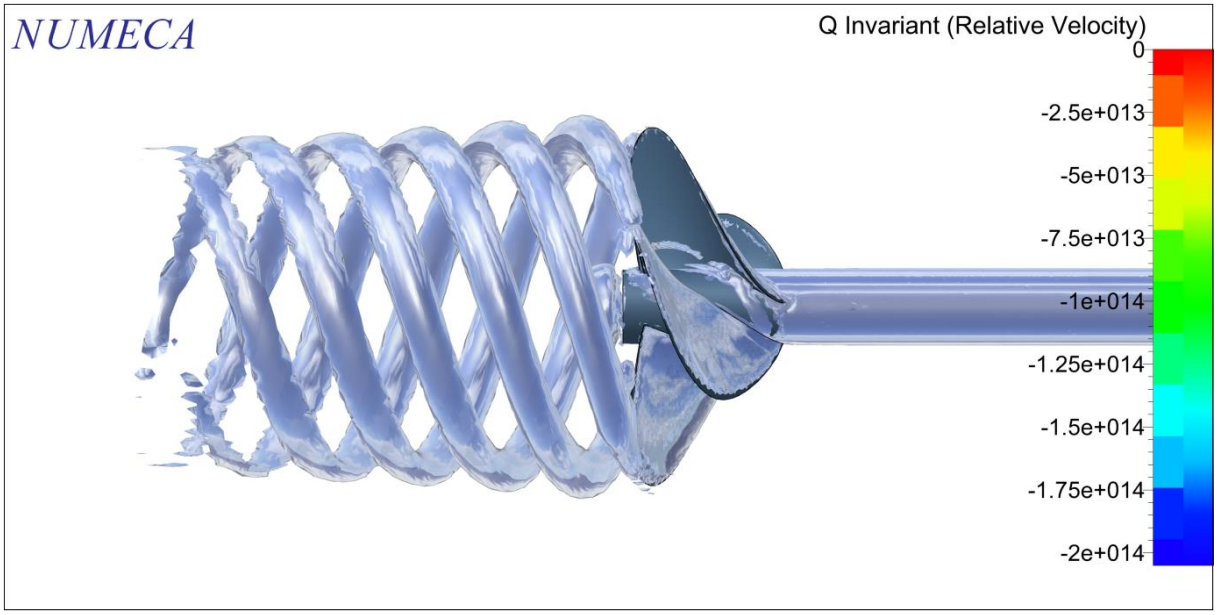

**Visualisasi Aliran *B Series Propeller* J = 0.6**



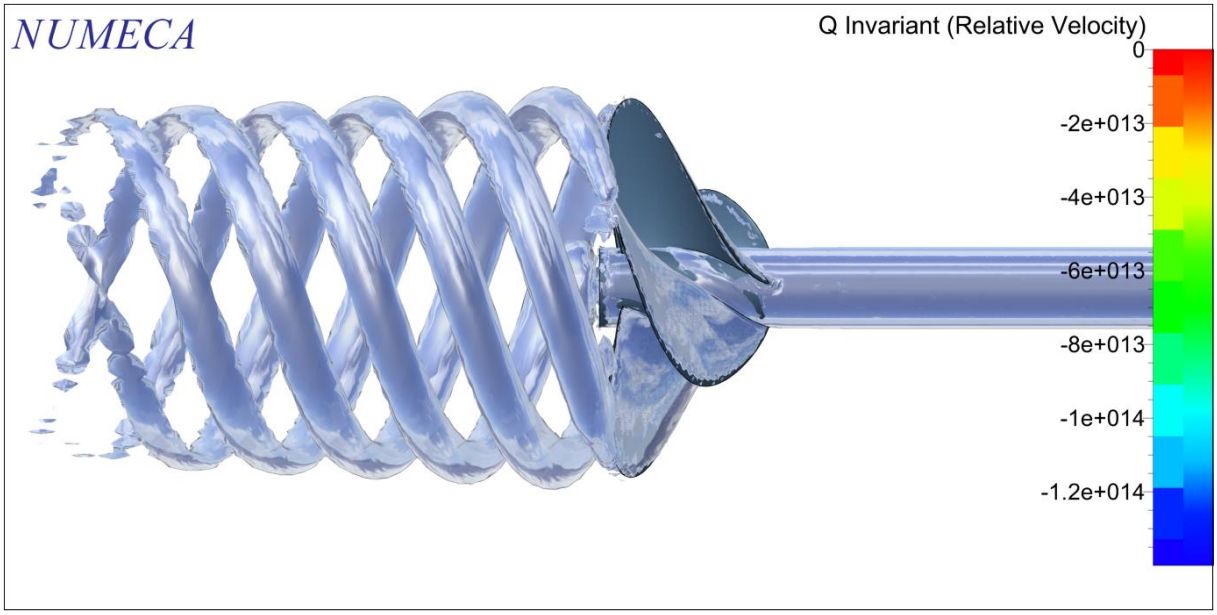
**Visualisasi Aliran *B Series Propeller* J = 0.7**



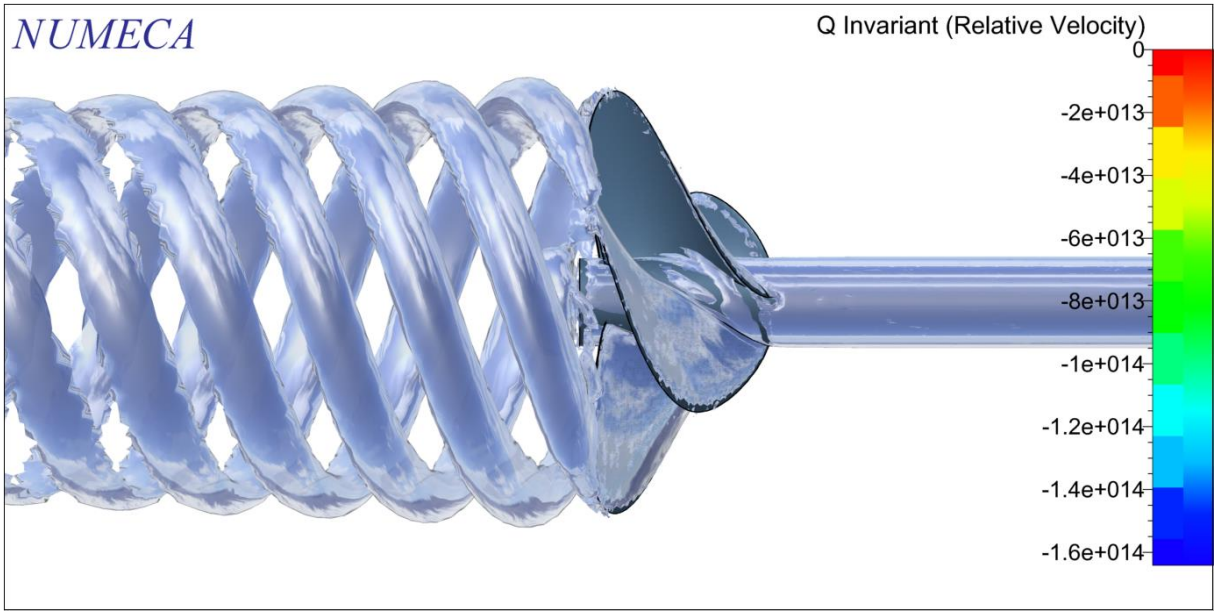

**Visualisasi Aliran *B Series Propeller* J = 0.8**



**Visualisasi Aliran *B Series Propeller* J = 0.9**

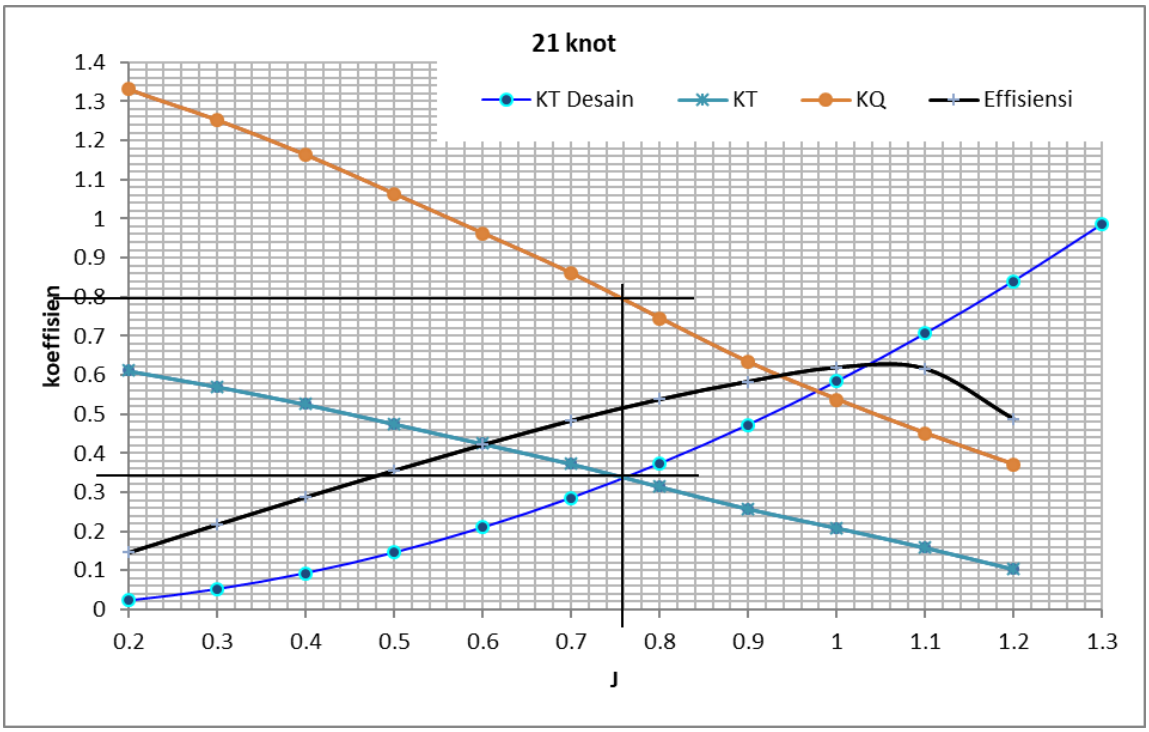


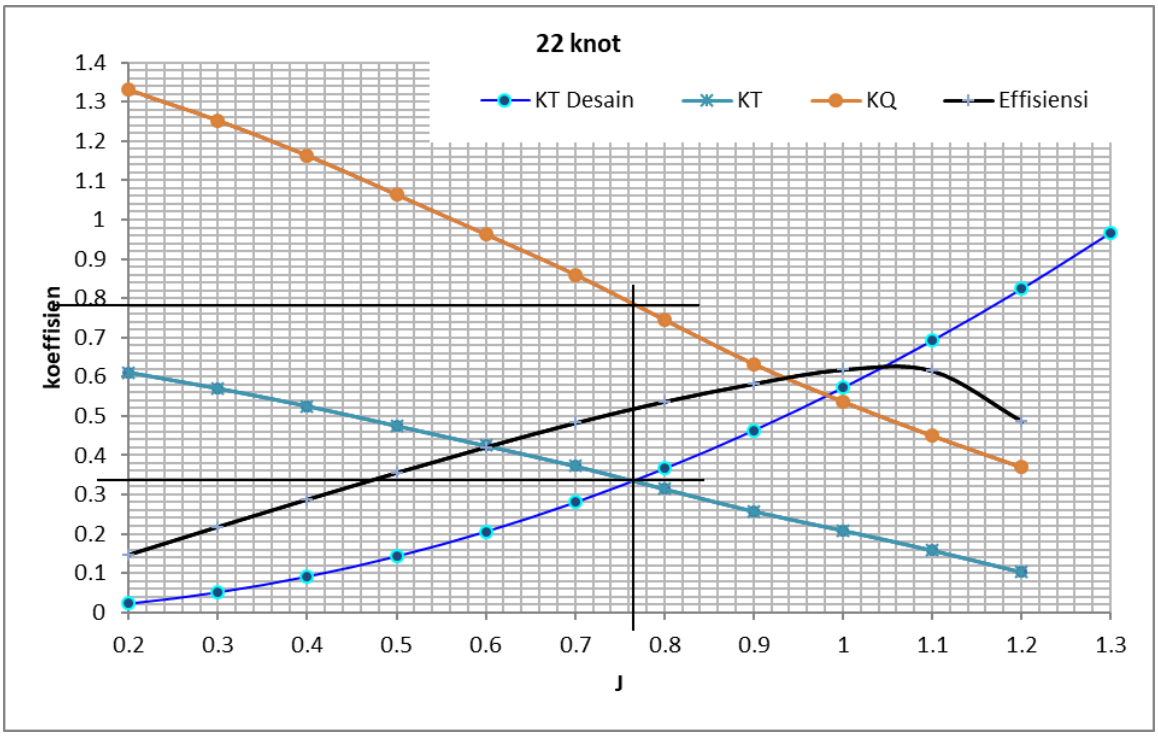

**Visualisasi Aliran *B Series Propeller* J = 0.956**

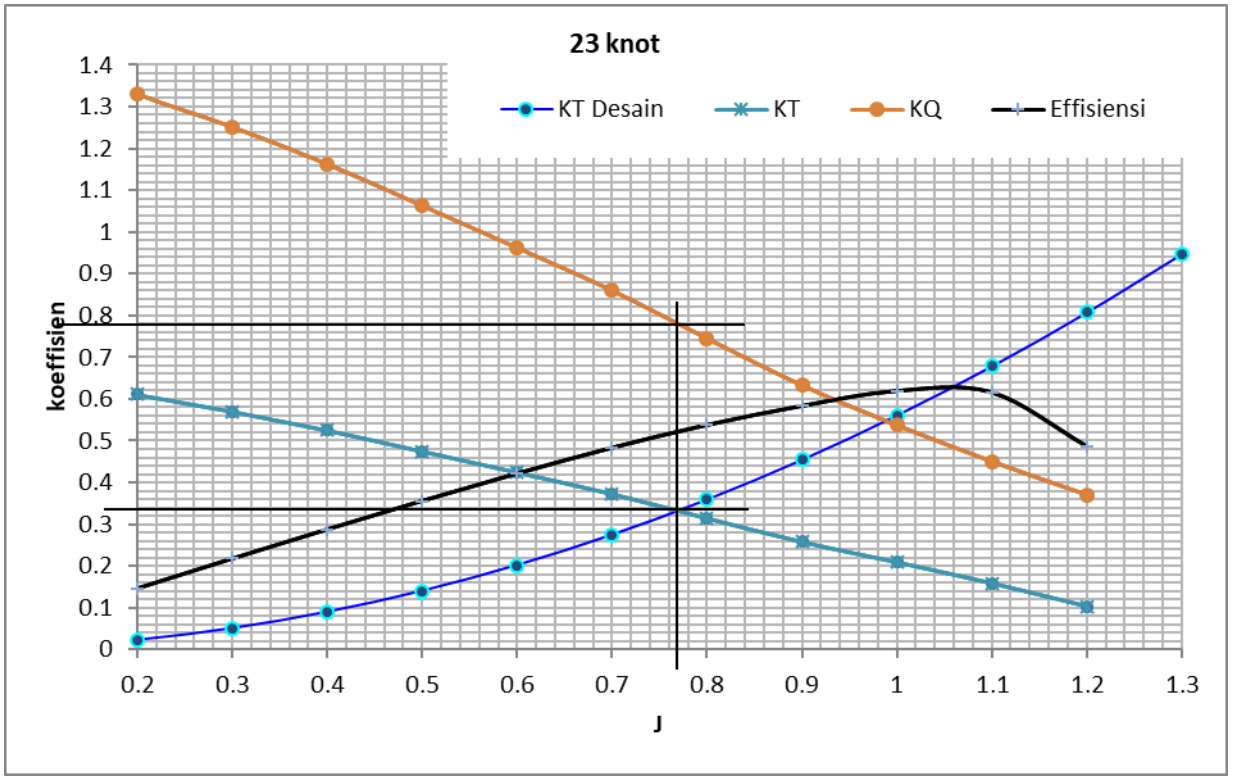


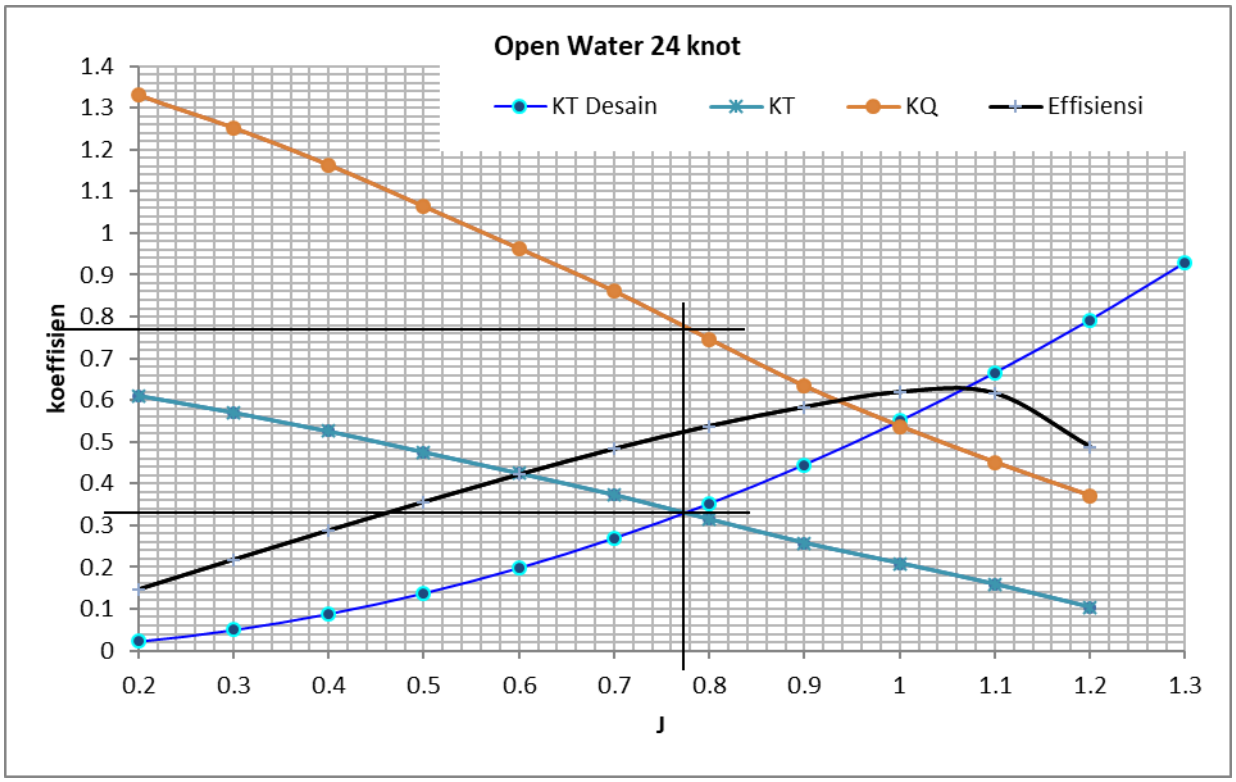
# LAMPIRAN C
# DIAGRAM $K_T$ DESAIN PADA SETIAP KECEPATAN

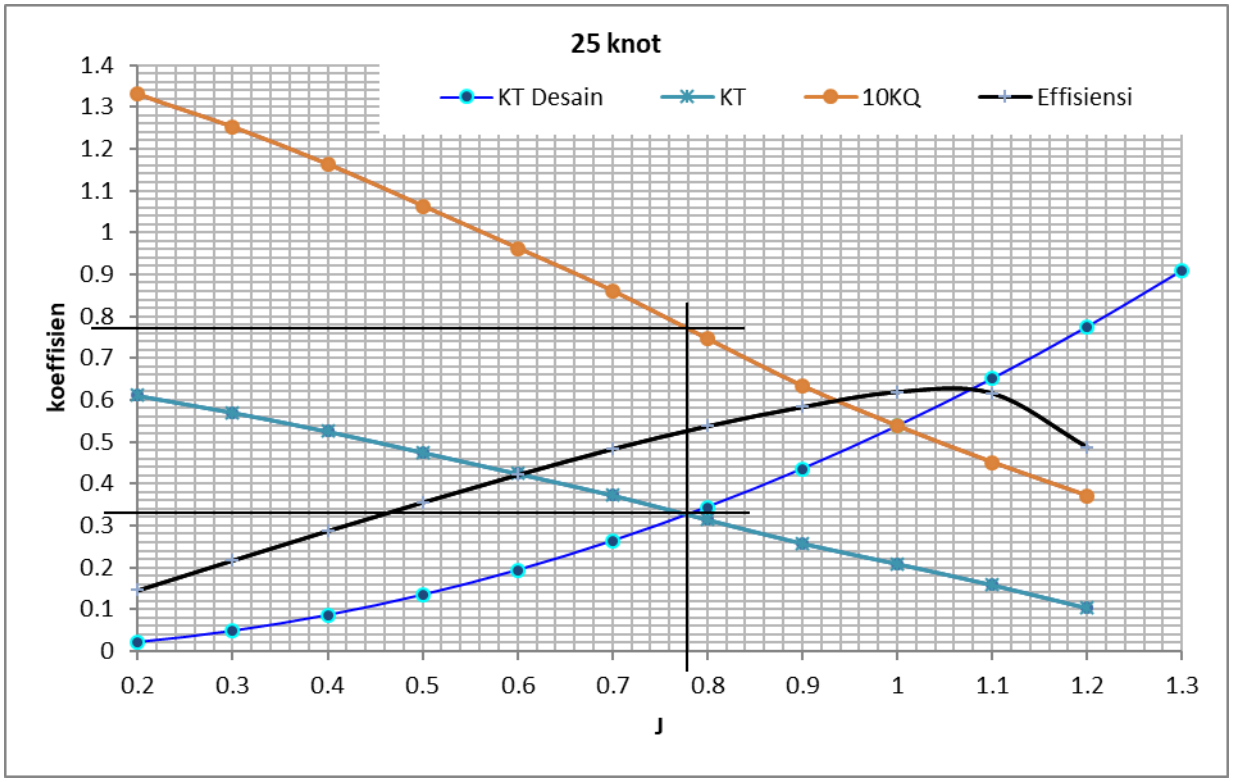
**Diagram $K_T$ Desain Pada Setiap Kecepatan *Symmetrical Blade Propeller***

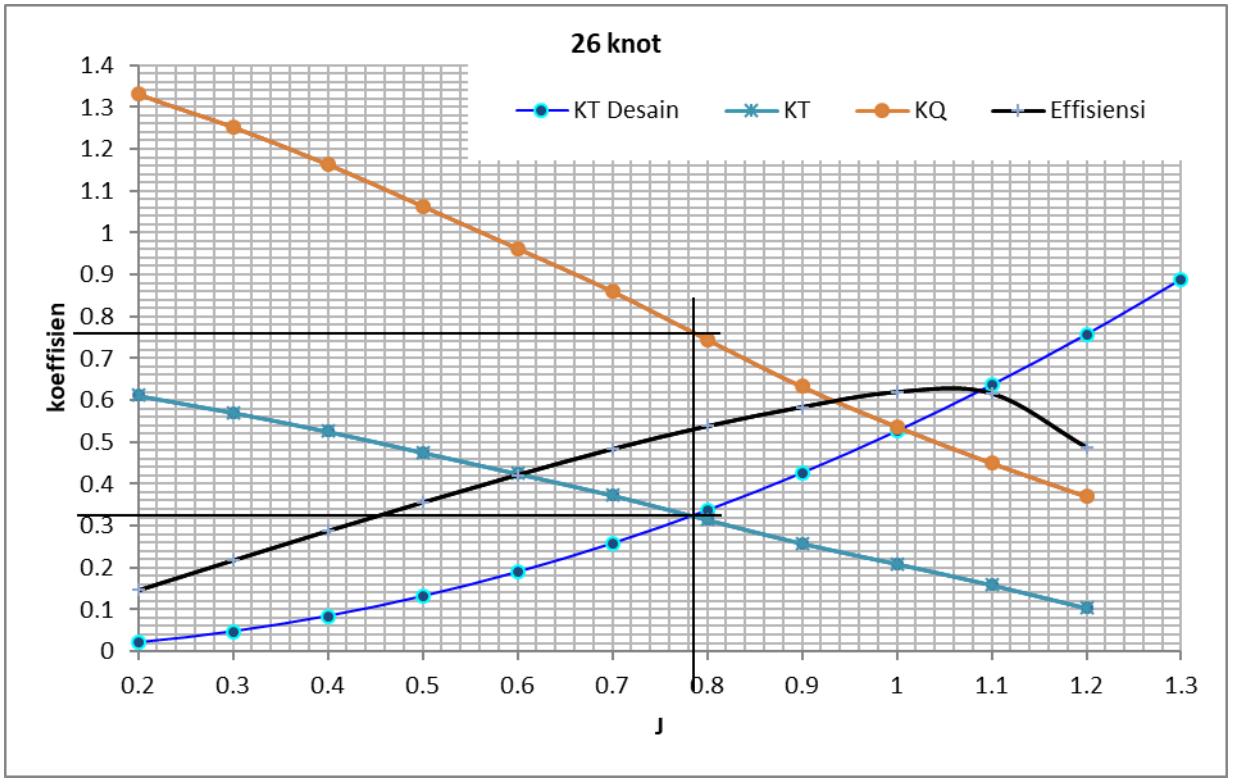


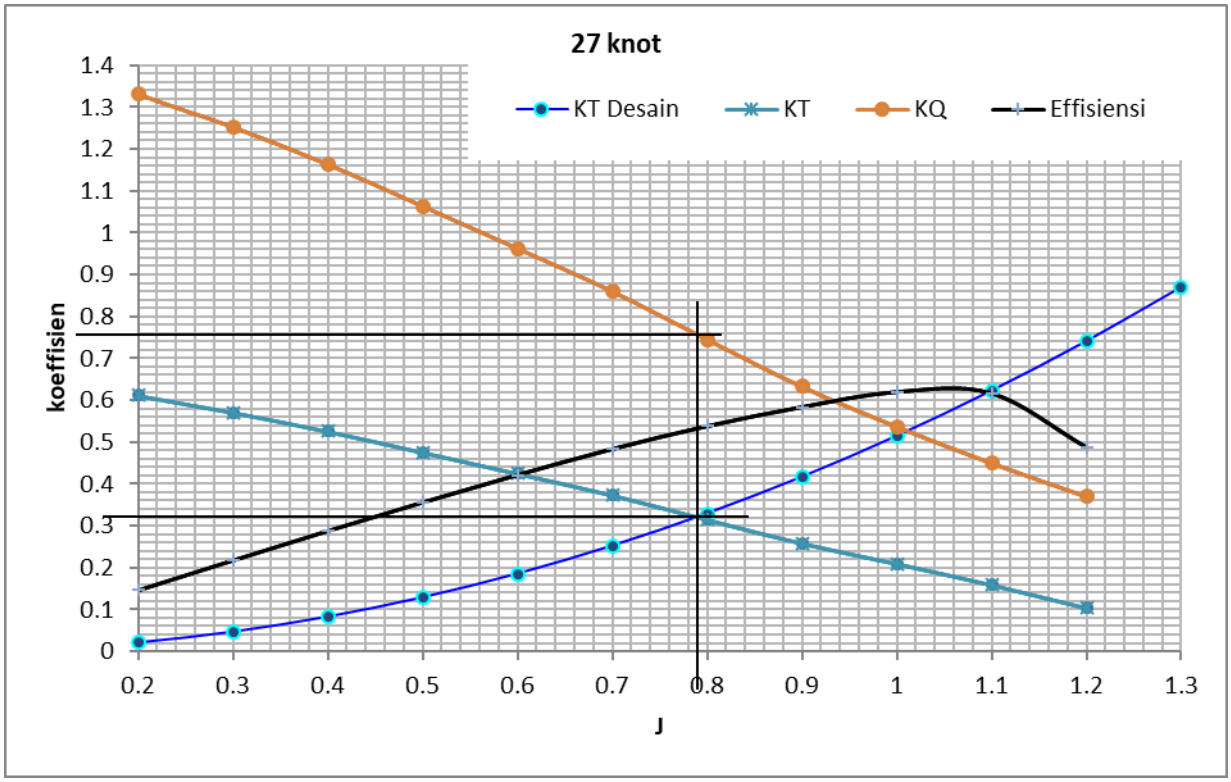



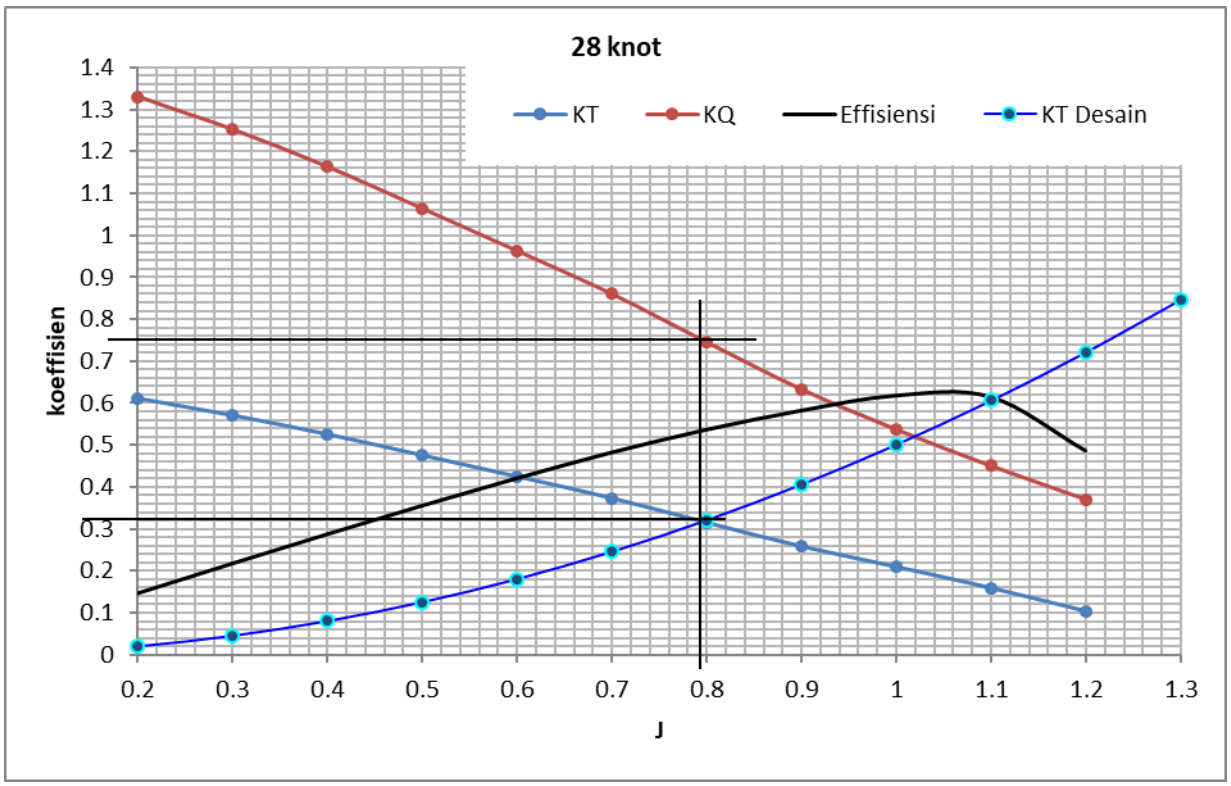

23 knot
KT Desain
KT
KQ
Effisiensi
koeffisien
J
1.4
1.3
1.2
1.1
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
1.1
1.2
1.3

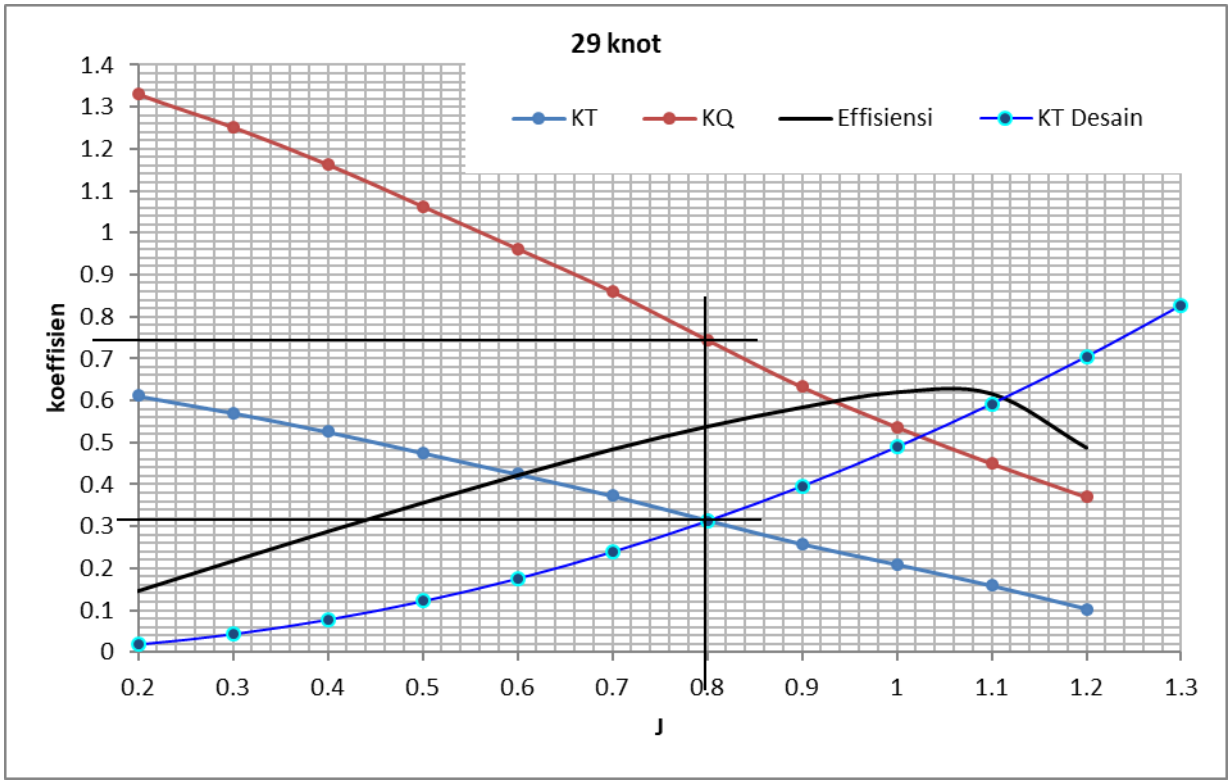

Open Water 24 knot
KT Desain
KT
KQ
Effisiensi
koeffisien
J
1.4
1.3
1.2
1.1
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
1.1
1.2
1.3


25 knot
KT Desain
KT
10KQ
Effisiensi
koeffisien
J
1.4
1.3
1.2
1.1
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
1.1
1.2
1.3


26 knot
KT Desain
KT
KQ
Effisiensi
koeffisien
J
1.4
1.3
1.2
1.1
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
1.1
1.2
1.3


27 knot
KT Desain
KT
KQ
Effisiensi
koeffisien
J
1.4
1.3
1.2
1.1
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
1.1
1.2
1.3


28 knot
KT
KQ
Effisiensi
KT Desain
koeffisien
J
1.4
1.3
1.2
1.1
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
1.1
1.2
1.3


29 knot
KT
KQ
Effisiensi
KT Desain
koeffisien
J
1.4
1.3
1.2
1.1
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
1.1
1.2
1.3

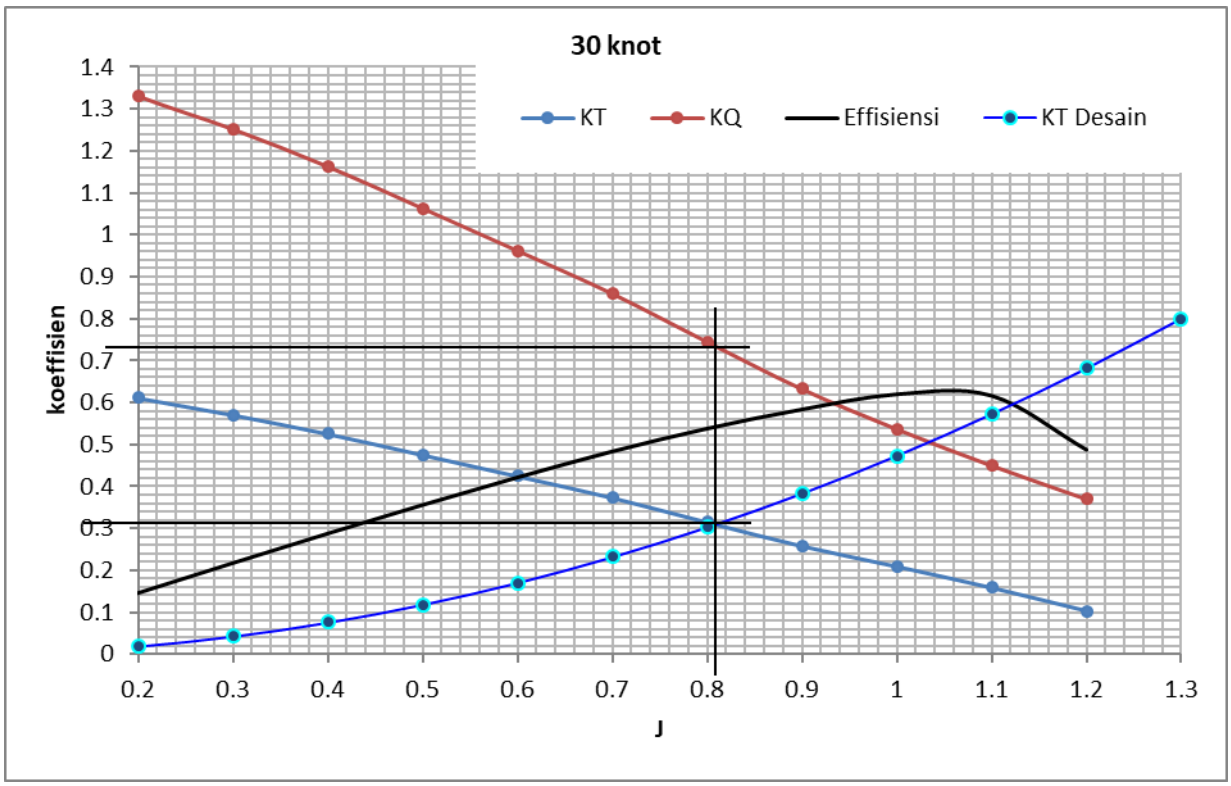
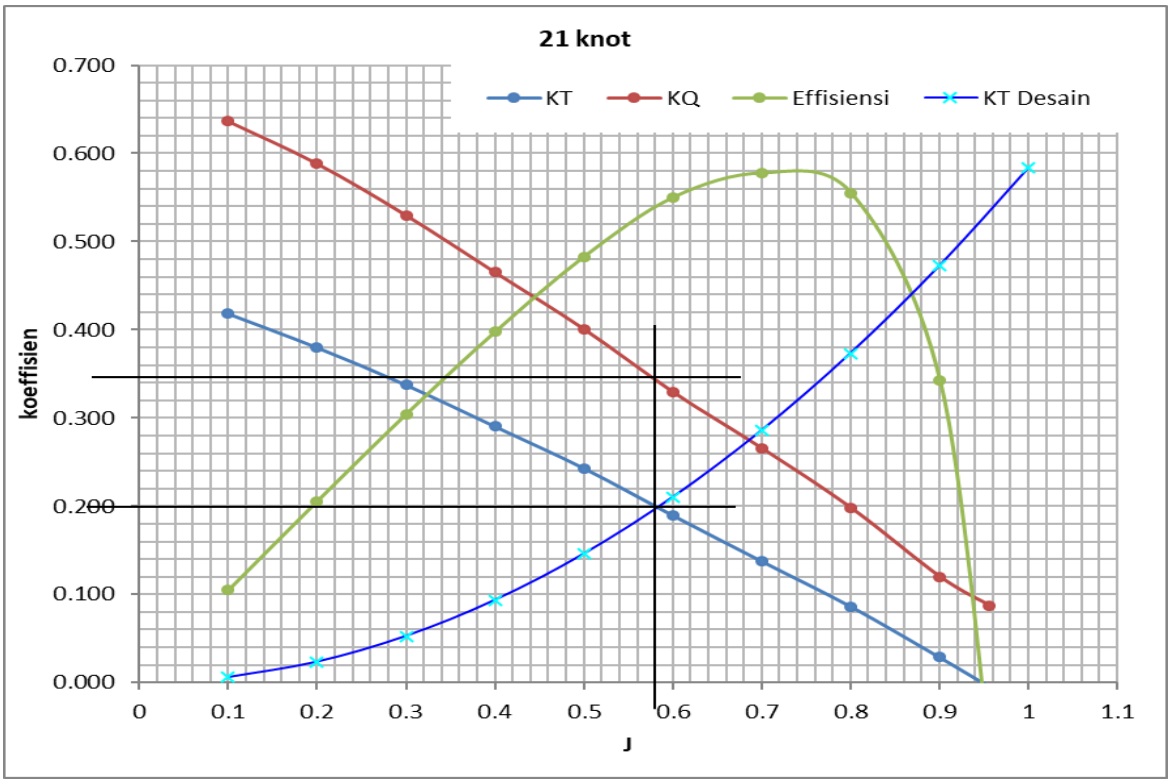
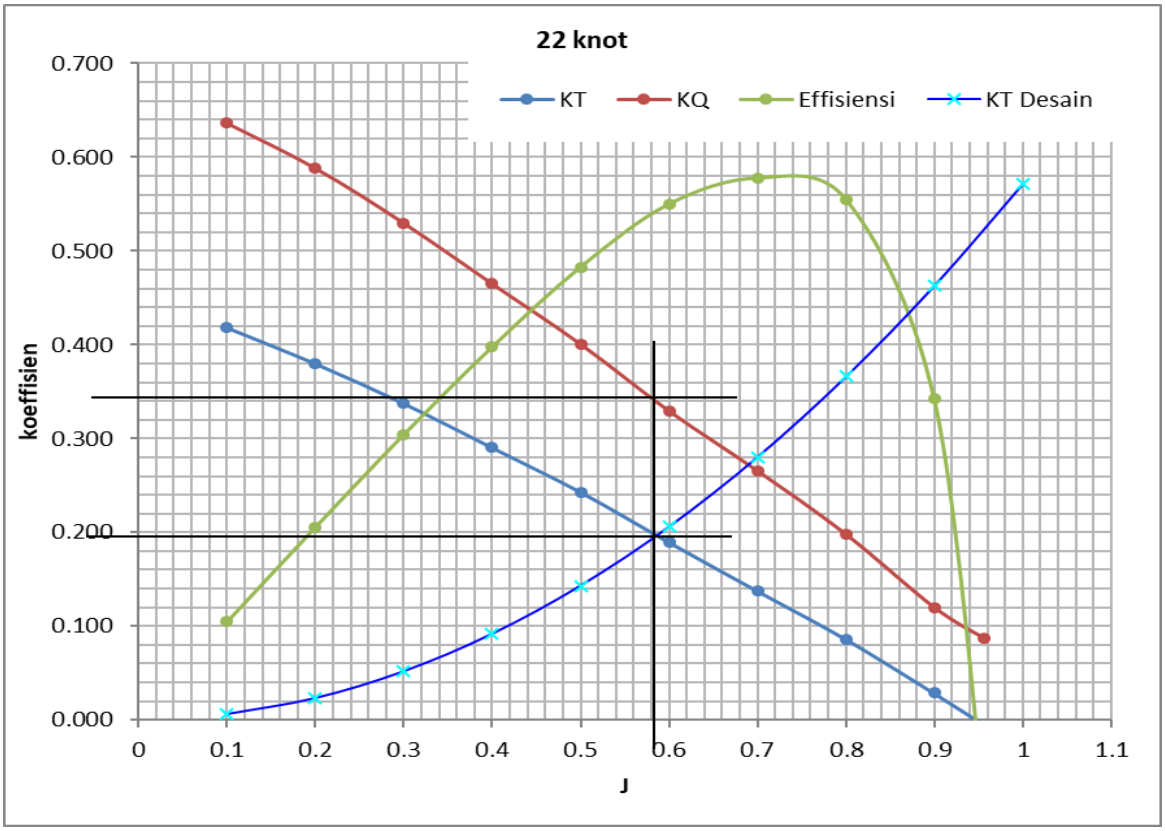
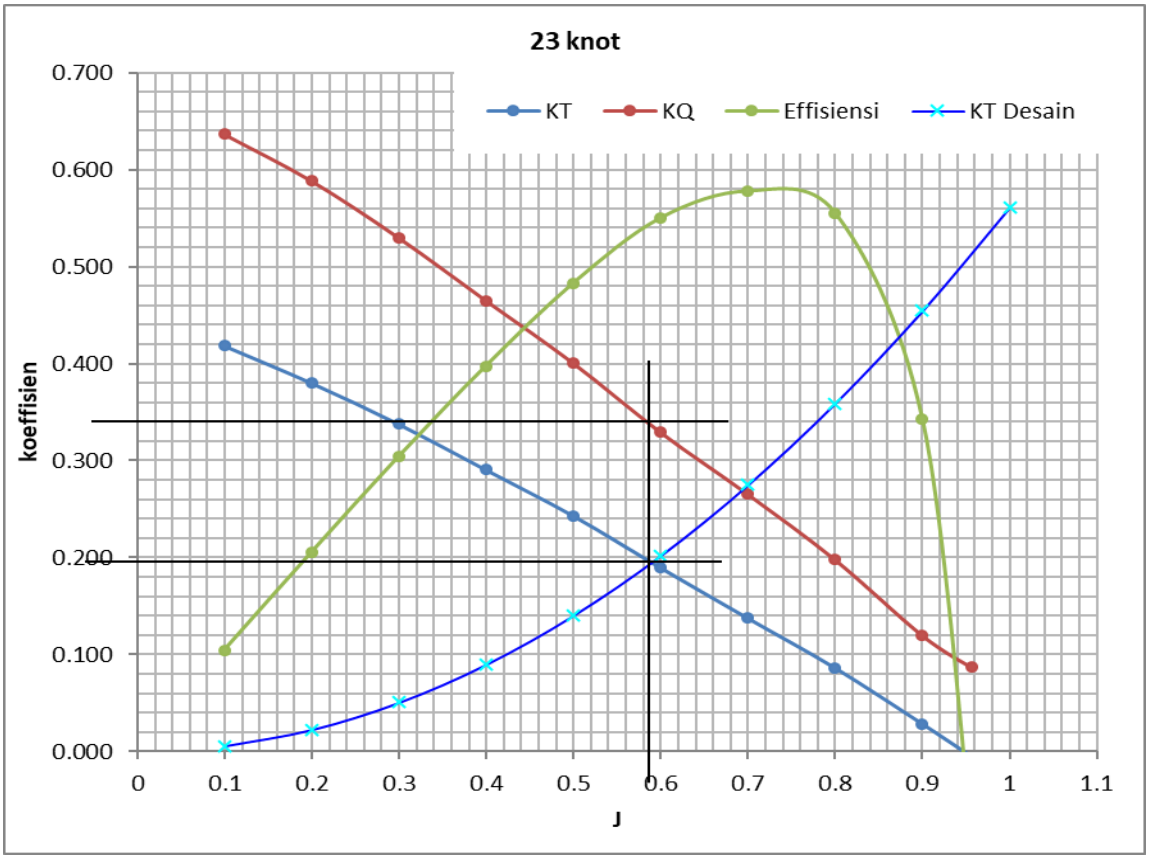
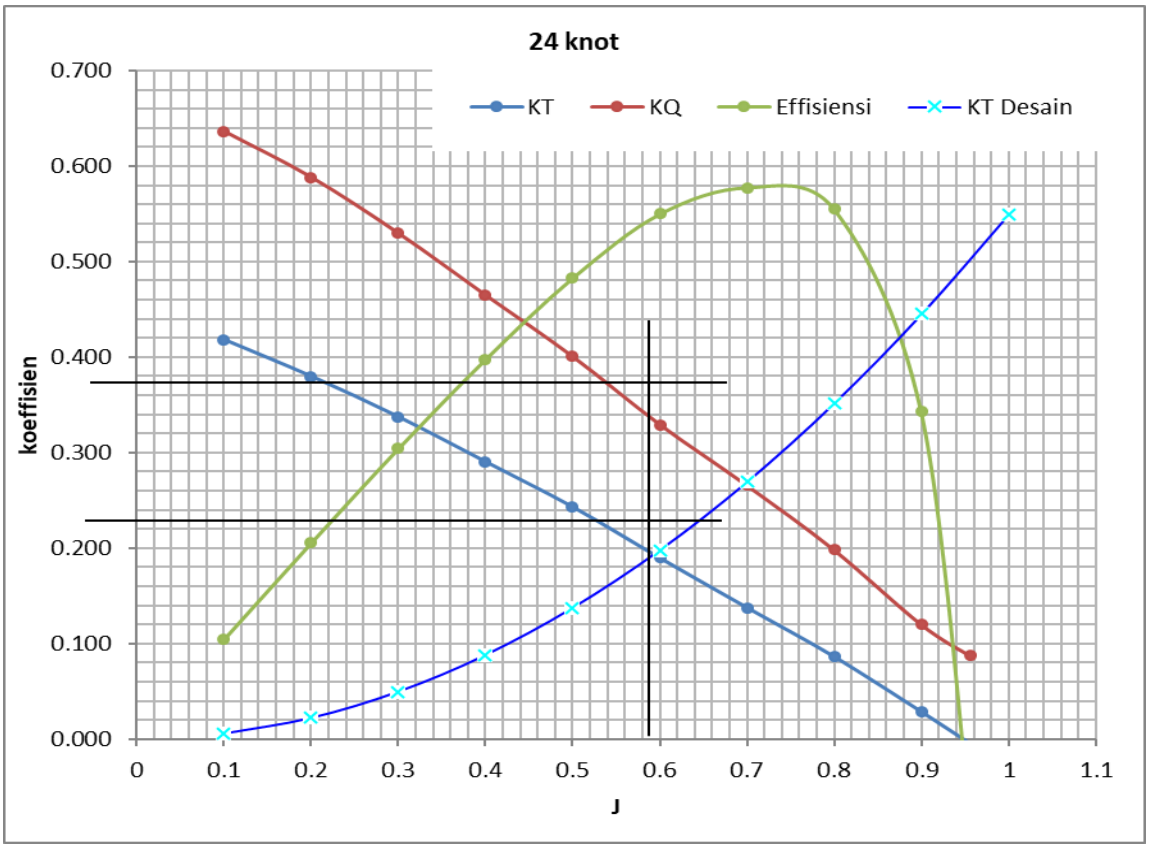

30 knot
KT
KQ
Effisiensi
KT Desain
koeffisien
J
1.4
1.3
1.2
1.1
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
1.1
1.2
1.3

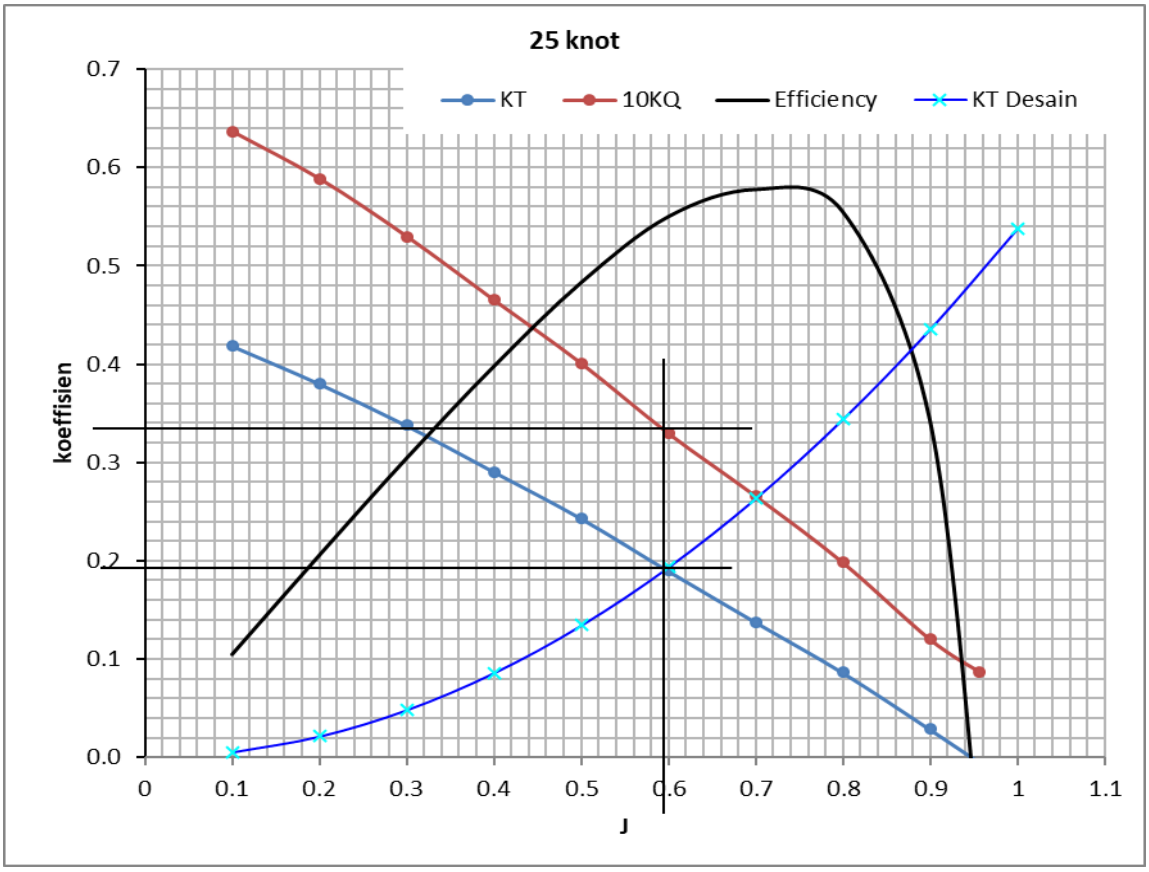
**Diagram $K_T$ Desain Pada Setiap Kecepatan *B Series Propeller***

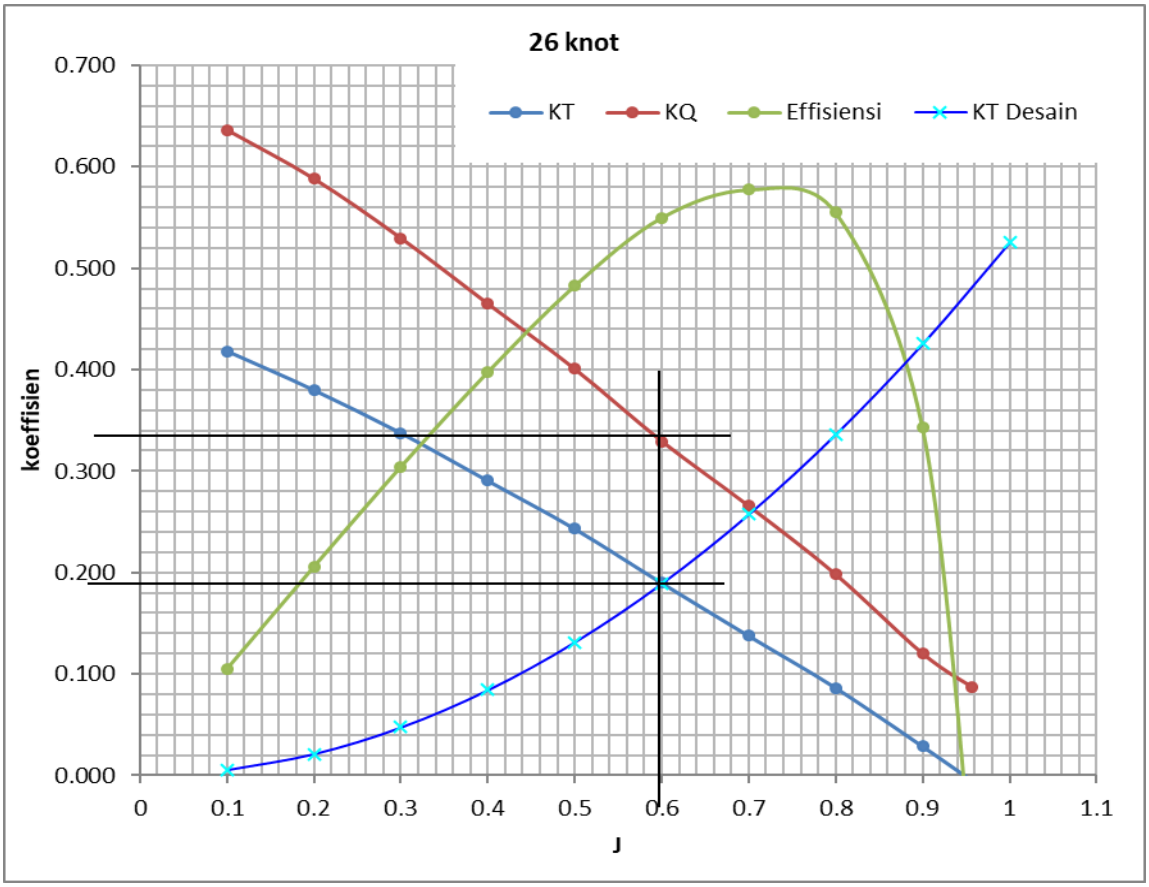


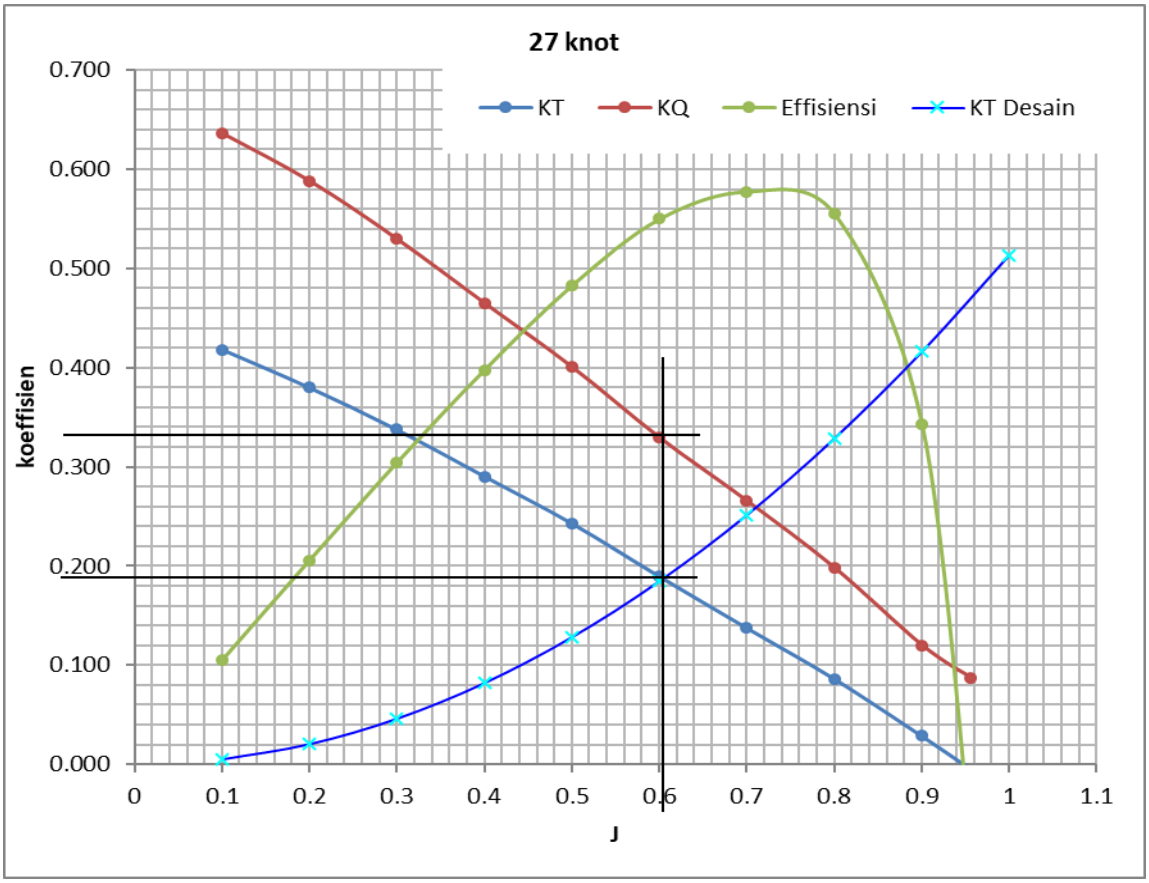



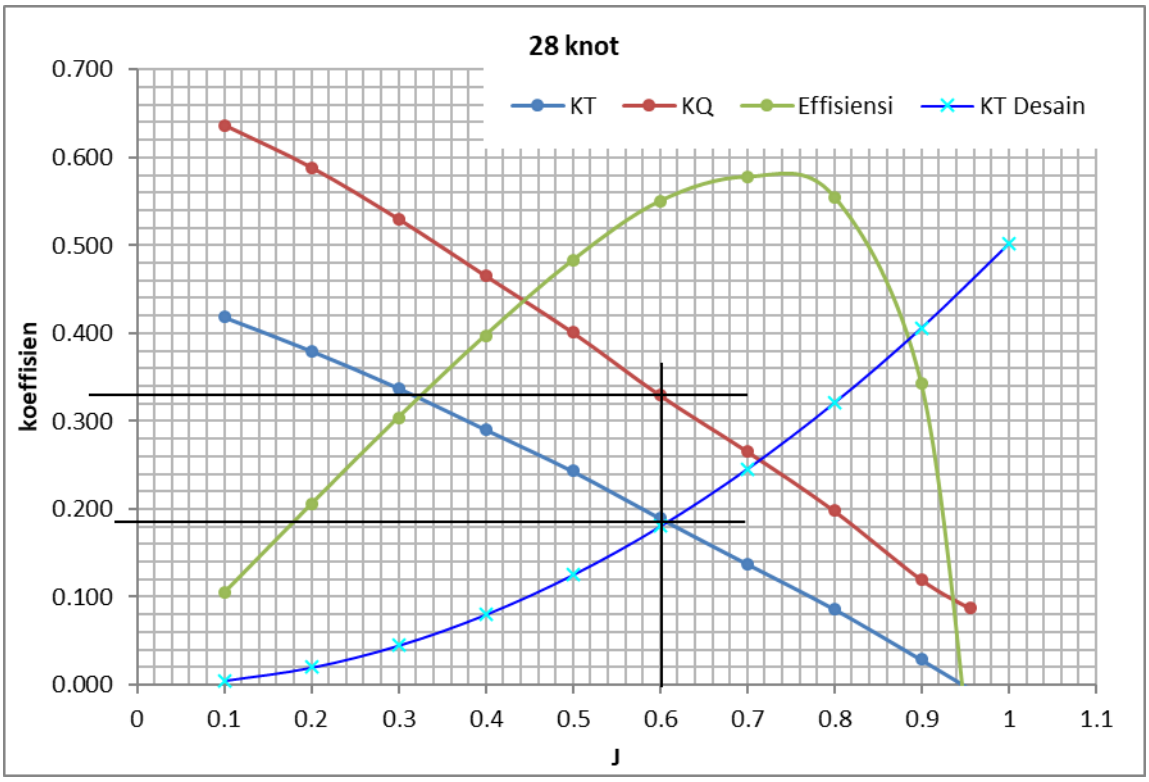

23 knot
KT
KQ
Effisiensi
KT Desain
koeffisien
J
0.700
0.600
0.500
0.400
0.300
0.200
0.100
0.000
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
1.1

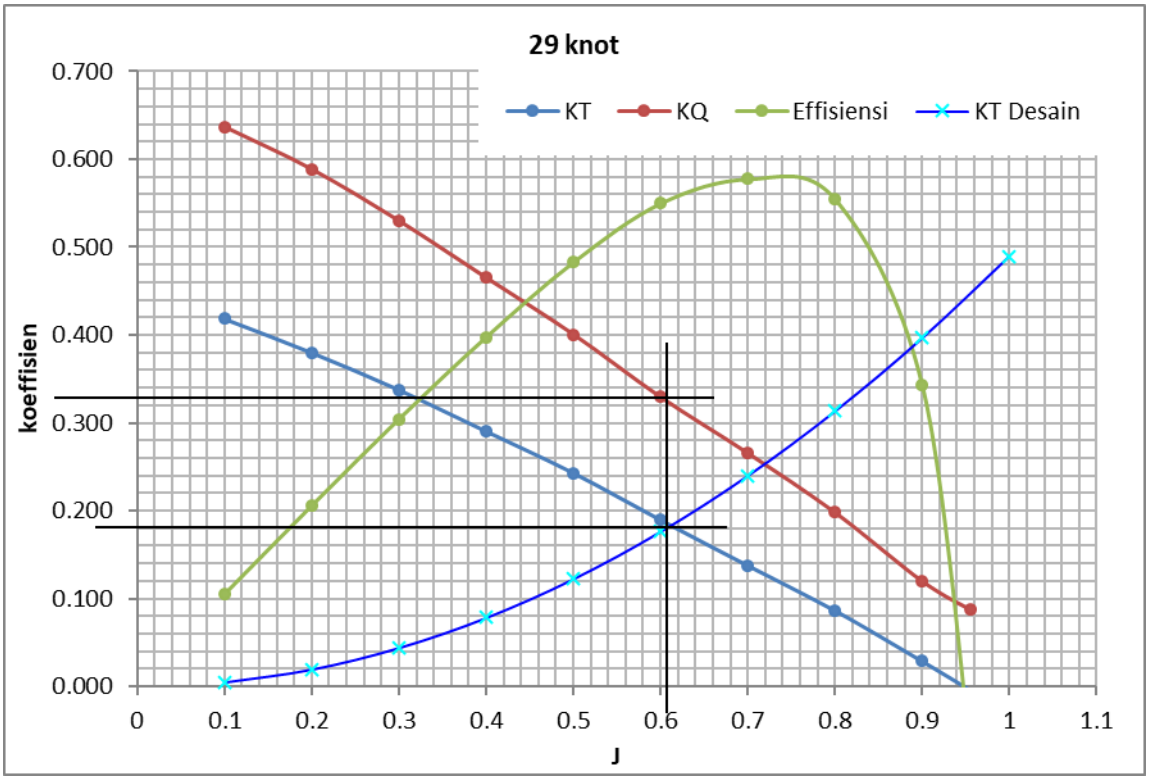

24 knot
KT
KQ
Effisiensi
KT Desain
koeffisien
J
0.700
0.600
0.500
0.400
0.300
0.200
0.100
0.000
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
1.1

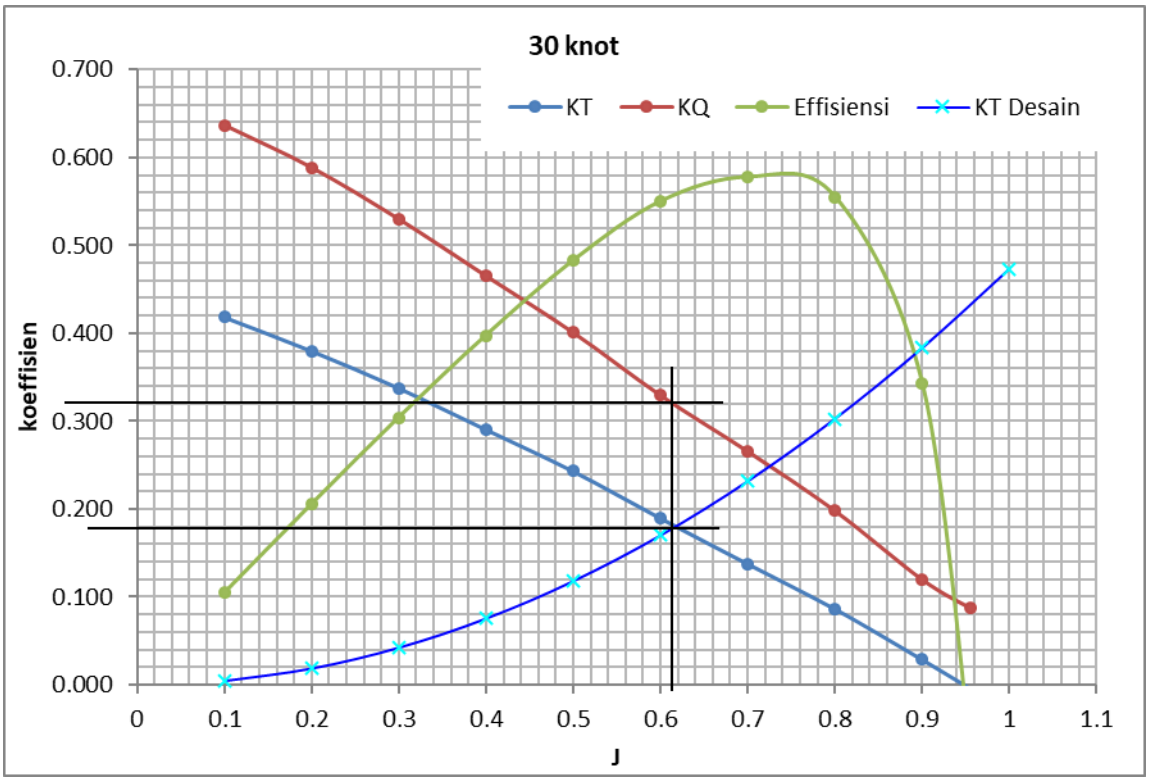

25 knot
KT
10KQ
Efficiency
KT Desain
koeffisien
J
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
1.1


26 knot
KT
KQ
Effisiensi
KT Desain
koeffisien
J
0.000
0.100
0.200
0.300
0.400
0.500
0.600
0.700
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
1.1


27 knot
KT
KQ
Effisiensi
KT Desain
koeffisien
J
0.700
0.600
0.500
0.400
0.300
0.200
0.100
0.000
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
1.1


28 knot
KT
KQ
Effisiensi
KT Desain
koeffisien
J
0.700
0.600
0.500
0.400
0.300
0.200
0.100
0.000
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
1.1


29 knot
KT
KQ
Effisiensi
KT Desain
koeffisien
0.700
0.600
0.500
0.400
0.300
0.200
0.100
0.000
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
1.1
J


30 knot
KT
KQ
Effisiensi
KT Desain
koeffisien
0.700
0.600
0.500
0.400
0.300
0.200
0.100
0.000
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
1.1
J

# BIODATA PENULIS

Rakasiwi Ferdin Kusuma, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Kudus pada 4 Oktober 1998 silam, Penulis merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada SD 2 Barongan, SMP 1 Kudus dan SMA 1 Kudus. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2016 melalui jalur SBMPTN.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi Ketua UKM Maritime Challenge 2018/2019 serta *Steering Committee* Departemen Kaderisasi Himatekpal 2018/2019.

Penulis tercatat pernah menjadi *grader* untuk mata kuliah Statistika dan Probabilitas, Rencana Garis, dan Perencanaan Produksi Kapal.

Email: rakasiwi1945@gmail.com