



**TUGAS AKHIR - ME184834**

**PERBANDINGAN ANALISA NUMERIK DAN EKSPERIMEN  
PROPULSI KAPAL CEPAT 75M**

Deliar Mahardika Candra  
NRP. 0421154000091

Dosen Pembimbing:  
Irfan Syarief Arief, S.T., M.T.  
Sunarsih, S.T., M.Eng., Ph.D.

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





**TUGAS AKHIR - ME184834**

**PERBANDINGAN ANALISA NUMERIK DAN EKSPERIMEN  
PROPULSI KAPAL CEPAT 75M**

Deliar Mahardika Candra  
NRP. 0421154000091

Dosen Pembimbing:  
Irfan Syarief Arief, S.T., M.T.  
Sunarsih, S.T., M.Eng., Ph.D.

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





**TUGAS AKHIR - ME184834**

**COMPARISON OF NUMERICAL ANALYSIS AND EXPERIMENT  
OF 75M PATROL SHIP PROPULSION**

Deliar Mahardika Candra  
NRP. 0421154000091

Supervisors:  
Irfan Syarief Arief, S.T., M.T.  
Sunarsih, S.T., M.Eng., Ph.D.

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



**LEMBAR PENGESAHAN**

**PERBANDINGAN ANALISA NUMERIK DAN EKSPERIMEN  
PROPULSI KAPAL CEPAT 75M**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada

Bidang Studi *Marine Manufacture and Design* (MMD)  
Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**DELIAR MAHARDIKA CANDRA**  
NRP. 0421154000091

Disetujui Oleh:

Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan

  
Dr. Eng. M. Badrus Zaman  
NIP. 19770802 200801 1007



Surabaya, Juli 2019

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**PERBANDINGAN ANALISA NUMERIK DAN EKSPERIMEN**  
**PROPULSI KAPAL CEPAT 75M**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi *Marine Manufacture and Design* (MMD)  
Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**DELIAR MAHARDIKA CANDRA**  
NRP. 0421154000091

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Irfan Syarief Arief, S.T., M.T.  
NIP. 19691225 199702 1 001
2. Sunarsih, S.T., M.Eng., Ph.D.  
NIP. -



Two handwritten signatures are present on the right side of the page, each written over a horizontal dotted line. The top signature is in black ink and appears to be 'Irfan Syarief Arief'. The bottom signature is in blue ink and appears to be 'Sunarsih'.

**Surabaya, Juli 2019**



# PERBANDINGAN ANALISA NUMERIK DAN EKSPERIMEN PROPULSI KAPAL CEPAT 75M

Nama Mahasiswa : Deliar Mahardika Candra  
NRP : 0421154000091  
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan  
Dosen Pembimbing : 1. Irfan Syarief Arief, S.T., M.T.  
2. Sunarsih, S.T., M.Eng., Ph.D.

## ABSTRAK

Tahanan dan propulsi kapal umumnya diprediksi dengan melakukan eksperimen uji model pada Laboratorium Hidrodinamika. Selain dengan melakukan eksperimen, tahanan dan propulsi kapal juga dapat diprediksi dengan menggunakan pendekatan secara numerik. Permasalahan pada kedua metode, yaitu apa sajakah perbedaan dari keduanya. Oleh sebab itu, pada penelitian ini dilakukan perbandingan antara hasil eksperimen dengan hasil perhitungan numerik. Eksperimen dilakukan di Balai Teknologi Hidrodinamika (BTH). Sedangkan untuk perhitungan numerik dilakukan perhitungan pada penelitian ini. Studi kasus yang digunakan yaitu Kapal Cepat 75m hasil penelitian BTH. Dari penjelasan sebelumnya dapat dirumuskan tujuan dari penelitian ini, yaitu untuk mengetahui nilai perbandingan tahanan total pada tiap variasi kecepatan, mengetahui karakteristik propeller pada uji *open water*, dan mengetahui perbandingan nilai daya yang dibutuhkan oleh kapal untuk melaju pada kecepatan yang diinginkan. Untuk mencapai tujuan tersebut dilakukan perhitungan nilai tahanan total. Pada tahap ini dicari nilai tahanan total ( $R_T$ ) dengan memanfaatkan metode *Holtrop-Mannen*. Kemudian dilakukan permodelan 3D propeller. Permodelan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Rhino 6 dengan output yaitu model 3D (parasolid). Hasil dari permodelan 3D kemudian digunakan dalam simulasi *Open Water*. Pada simulasi ini digunakan perangkat lunak *Computational Fluid Dynamic*, yaitu NUMECA Fine/Marine. Hasil dari perhitungan tahanan dan uji *Open Water* digunakan untuk melakukan simulasi *Actuator Disc* dan perhitungan daya. Hasil akhir dari perhitungan daya yaitu *Shaft Horse Power* (SHP). Hasil dari penelitian ini yaitu nilai tahanan total terdapat perbedaan dengan rata-rata nilai 11,71%. Kurva yang dihasilkan pada diagram perbandingan tahanan total memiliki perbedaan bentuk yang menonjol. Diagram performa propeller berhasil didapatkan. Pada perhitungan daya diketahui rata-rata perbedaan nilai daya pada tiap variasi kecepatan sebesar 8,96%. Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini ialah metode numerik memiliki kelemahan yaitu terbatas pada karakteristik dan jenis kapal.

**Kata kunci:** Kapal Cepat 75 M, Tahanan dan Propulsi, Metode Holtrop-Mannen, *Computational Fluid Dynamics*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# COMPARISON OF NUMERICAL ANALYSIS AND EXPERIMENT OF 75M PATROL SHIP PROPULSION

Student's name : Deliar Mahardika Candra  
NRP : 0421154000091  
Department : Marine Engineering  
Supervisors : 1. Irfan Syarief Arief, S.T., M.T.  
2. Sunarsih, S.T., M.Eng., Ph.D.

## ABSTRACT

*Ship resistance and propulsion are predicted by doing some model test at Hydrodynamics Laboratory. Besides, the values are also can be predicted by a numerical approach. The problem of those two methods is how is the difference between the results given. This research shown the comparison between both methods made the difference between two methods known. The experiment is done at Indonesian Hydrodynamics Laboratory (IHL). Where the numerical analysis is done in this research. The ship model, which used in this research, is 75m Patrol Ship. From the description, can be concluded the goal of this research, there are to find the difference of total resistance ( $R_T$ ) values in each speed chosen, to find the propeller performance diagram in open water test, and to find the difference of total of power (Shaft Horse Power) needed in each speed chosen. To achieve every goal, the ship resistance values are calculated. In this stage, to find the value of total resistance the Holtrop-Mannen numerical method is used. Then, the 3D modeling of propeller is done and the 3D model is used in open water simulations. In this simulation, computational fluid dynamics software is used. The software used is NUMECA Fine/Marine. The value of total resistance and the result of open water test are used to carry out actuator disc simulation and power calculation. The result of this research is the total resistance values difference is founded with an average of difference by 11,71%. The two curves shown in the comparison diagram has a different patterns. The propeller performance diagram is acquired. Then, in the power comparison, the average of power values in each speed chosen is 8,96%. The conclusion of this research is the numerical method have a weakness, that limited by characteristic and type of ship used.*

**Keywords:** *75 M Patrol Ship, Ship Resistance and Propulsion, Holtrop-Mannen Numerical Method, Open Water Test, Computational Fluid Dynamics*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

*Assalamu 'alaikum Wr. Wb.* Semoga Allah SWT., selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada pembaca sekalian.

*Alhamdulillahirabbil'alamin*, puji syukur atas kehadiran Allah SWT, dengan rahmat dan hidayah-Nya, penulis mampu untuk menyelesaikan tugas akhir, dengan judul “Perbandingan Analisa Numerik dan Eksperimen Kapal Cepat 75m”. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi mata kuliah Tugas Akhir dan salah satu syarat untuk dapat menerima gelar Sarjana Teknik dari Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Karena dalam penulisan tugas akhir ini penulis mendapat banyak bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Mohammad Wahyudi S.Pd., M.M. dan Ibu Tentrem Sri Rahayu, S.Pd, M.Pd. selaku orang tua, dan Radiktya Gilang Permana selaku adik, yang telah memberikan bantuan doa, nasihat, semangat, dan fasilitas untuk menyelesaikan tugas akhir.
2. Bapak Dr. Eng., M. Badrus Zaman, S.T., M.T., selaku Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan, FTK, ITS, beserta jajaran.
3. Bapak Irfan Syarief Arief, S.T., M.T. dan Ibu Suarsih, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak masukan kepada penulis.
4. Bapak Mahendra Indriyanto, S.T., M.T., yang telah memberikan bantuan berupa data dan banyak masukan kepada penulis.
5. Bapak Prof. I Ketut Buda Artana, S.T., M.Sc., sebagai dosen wali, yang selama 8 semester telah memberikan dukungan dan masukan.
6. Teman-teman Laboratorium *Marine Manufacture and Design*, khususnya kepada Gus Krisnadewanta dan Anson Novendra, yang telah membantu dalam pengerjaan tugas akhir ini.
7. Teman-teman sesama perantauan dari Probolinggo, khususnya Abdullah Nadhif Ersa Pratama dan Bagus Widya Nugraha, yang telah memberikan bantuan doa dan semangat.
8. Semua penghuni Kontrakan Jahat , yang telah memberikan bantuan doa dan semangat.
9. Teman-teman Salvage '15, yang telah memberikan bantuan doa dan semangat.
10. Teman-teman Kopma dr.Angka ITS, yang telah memberikan bantuan doa dan semangat.
11. Keluarga besar Pajurangan dan Togogan, yang telah memberikan bantuan doa dan semangat.
12. Serta pihak-pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih banyak ditemukan kekurangan. Oleh sebab itu, penulis berharap adanya kritik dan saran yang

bersifat membangun bagi penulis. Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan dapat berguna bagi penelitian selanjutnya.

*Wassalamu'alaikum Wr. Wb.*

Surabaya, 27 Juli 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
<i>ABSTRACT</i> .....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	1
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Penelitian .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	3
2.1 Tahanan Kapal .....	3
2.2 Sistem Propulsi .....	3
2.2.1 Motor Penggerak Utama .....	4
2.2.2 Sistem Transmisi .....	5
2.2.3 Propulsor .....	5
2.2.4 <i>Propeller</i> Konvensional .....	6
2.3 Uji Open Water .....	7
2.4 Daya Motor Penggerak .....	8
2.5 <i>Engine-Propeller Matching</i> .....	9
2.6 Metode Computational Fluid Dynamics .....	10
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	11
3.1 Pendahuluan .....	11
3.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah .....	12
3.3 Studi Literatur .....	12
3.4 Pengambilan Data Kapal .....	12
3.5 Perhitungan Tahanan .....	13
3.5.1 Analisa Tahanan Menggunakan Maxsurf .....	14
3.5.2 Perhitungan Matematis .....	18

3.6	Permodelan 3D Propeller .....	19
3.7	Simulasi Open Water .....	20
3.8	Simulasi Actuator Disc .....	30
3.9	Perhitungan Daya .....	32
3.10	Perbandingan Hasil Analisa .....	36
3.11	Perumusan Kesimpulan dan Saran .....	36
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>37</b>
4.1	Pendahuluan .....	37
4.2	Tahanan Kapal Numerik dan Eksperimen.....	37
4.3	Performa Propeller.....	39
4.4	Perbandingan Daya.....	41
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>		<b>43</b>
5.1	Ringkasan Penelitian .....	43
5.2	Kesimpulan.....	43
5.3	Saran.....	44
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>45</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>47</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sistem propulsi mekanis .....	3
Gambar 2. 2 Mesin diesel MAN B&W two-stroke.....	4
Gambar 2. 3 Shafting .....	5
Gambar 2. 4 Wartsila CPP .....	5
Gambar 2. 5 Wartsila FPP .....	6
Gambar 2. 6 Diagram karakteristik open water .....	7
Gambar 2. 7 Matching point propeller dan mesin utama .....	9
Gambar 3. 1 Alur metodologi penelitian .....	11
Gambar 3. 2 Rencana garis kapal cepat 75m.....	13
Gambar 3. 3 rancangan propeller symmetrical blade.....	13
Gambar 3. 4 Tampak samping model 3D .....	14
Gambar 3. 5 Tampilan prespektif model 3D .....	15
Gambar 3. 6 Pemilihan surface pada model 3D yang akan dianalisis.....	16
Gambar 3. 7 Tampilan awal Maxurf Resistance.....	16
Gambar 3. 8 Pemilihan metode analisa tahanan .....	17
Gambar 3. 9 Diagram tahanan total Maxurf .....	17
Gambar 3. 10 Diagram perbandingan hasil analisa numerik .....	19
Gambar 3. 11 Hasil permodelan 3D propeller .....	20
Gambar 3. 12 C-Wizzard.....	21
Gambar 3. 13 Initial mesh .....	22
Gambar 3. 14 Adapt to geometry - global .....	23
Gambar 3. 15 Adapt to geometry - surface refinement.....	23
Gambar 3. 16 Adapt to geometry - box refinement .....	24
Gambar 3. 17 Snap to geometry .....	24
Gambar 3. 18 Optimize .....	25
Gambar 3. 19 Viscous layer .....	25
Gambar 3. 20 Hasil mesh .....	26
Gambar 3. 21 General parameter.....	27
Gambar 3. 22 Fluid model.....	27
Gambar 3. 23 Boundary conditions .....	28
Gambar 3. 24 Body definition .....	29
Gambar 3. 25 Initial solution.....	29
Gambar 3. 26 Control variable .....	30
Gambar 3. 27 Konfigurasi additional model.....	32
Gambar 3. 28 Diagram open water untuk menentukan J pada kecepatan 15 Knot .....	34
Gambar 4. 1 Diagram perbandingan hasil ketiga metode tahanan .....	38
Gambar 4. 2 Bagian bow lambung Kapal Cepat 75 m.....	39
Gambar 4. 3 Contoh lambung bagian depan Kapal Bulk Carrier 20000 GT.....	39
Gambar 4. 4 Diagram open water propeller symmetrical blade BTH.....	40
Gambar 4. 5 Perbandingan SHP hasil perhitungan daya dan hasil eksperimen .....	42

*Halaman sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Data utama kapal .....	12
Tabel 3. 2 Batasan metode Holtrop-Mannen .....	14
Tabel 3. 3 Validasi model kapal .....	15
Tabel 3. 4 Hasil analisa menggunakan Maxurf .....	17
Tabel 3. 5 Hasil perhitungan tahanan secara matematis .....	18
Tabel 3. 6 Perbandingan hasil analia numerik .....	18
Tabel 3. 7 Data utama propeller .....	20
Tabel 3. 8 Tabel offset propeller .....	20
Tabel 3. 9 Daftar input pada tahap meshing .....	26
Tabel 3. 10 Validasi mesh .....	26
Tabel 3. 11 Konfigurasi $V_a$ .....	28
Tabel 3. 12 Konfigurasi control variable .....	30
Tabel 3. 13 Konfigurasi actuator disc .....	31
Tabel 3. 14 Konfigurasi additional model untuk actuator disc .....	31
Tabel 3. 15 Hasil actuator disc .....	32
Tabel 3. 16 Perhitungan $C_{TS}$ pada tiap kecepatan .....	33
Tabel 3. 17 Hasil perhitungan $\alpha$ dan $\beta$ .....	33
Tabel 3. 18 Nilai $KT$ pada tiap variasi kecepatan .....	34
Tabel 3. 19 Performa propeller tiap variasi kecepatan .....	35
Tabel 3. 20 Daya pada tiap variasi kecepatan .....	36
Tabel 4. 1 Hasil ekstrapolasi tahanan oleh BTH .....	37
Tabel 4. 2 Hasil thrust dan torsi pada saat simulasi open water .....	40
Tabel 4. 3 Performa propeller .....	40
Tabel 4. 4 Tabel daya hasil eksperimen BTH .....	41
Tabel 4. 5 Perbandingan nilai SHP .....	42

*Halaman sengaja dikosongkan*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Secara umum kapal yang bergerak di media air dengan kecepatan tertentu, maka akan mengalami gaya hambat (*resistance*) yang berlawanan dengan arah gerak kapal tersebut. Supaya kapal dapat melaju dengan kecepatan yang diinginkan, maka kapal perlu melawan gaya hambat dengan menggunakan gaya dorong (*thrust*) yang dihasilkan oleh sistem propulsi.

Sistem propulsi kapal adalah sebuah sistem yang digunakan pada kapal untuk menghasilkan daya dorong yang digunakan untuk mendorong kapal pada media air. Sistem propulsi yang umumnya digunakan pada saat ini yaitu sistem propulsi mekanis. Secara umum, sistem propulsi mekanis terdiri dari 3 (tiga) komponen utama, yaitu motor penggerak utama (*main engine*); sistem transmisi; dan alat gerak (*propulsor*). Ketiga komponen utama ini merupakan suatu kesatuan yang didalam proses perencanaannya tidak dapat ditinjau secara terpisah.

Dalam merancang sebuah sistem propulsi mekanis umumnya digunakan dua jenis metode, yaitu menggunakan eksperimen dan perhitungan numerik. Pada metode menggunakan eksperimen, dibuat sebuah model kapal yang kemudian diuji pada beberapa fasilitas seperti: *Towing Tank* dan *Cavitation Tunnel*. Hasil pengujian tersebut nantinya akan diolah lagi menggunakan perhitungan matematis untuk mendapatkan data yang diinginkan. Sedangkan pada metode perhitungan numerik, proses perancangan dilakukan dengan menggunakan perhitungan numerik dan sedikit perhitungan matematis.

Ditemukan sebuah permasalahan, yaitu berapa perbedaan hasil dari kedua metode. Sehingga, pada tugas akhir ini dilakukan perbandingan hasil eksperimen analisa propulsi pada kapal cepat 75 m yang merupakan eksperimen dari Balai Teknologi Hidrodinamika (yang selanjutnya akan disebut BTH) dengan analisa numerik. Diawali dengan perbandingan nilai tahanan total, kemudian melakukan uji *open water* menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (yang selanjutnya akan disebut CFD) pada model *propeller* yang digunakan, dan perbandingan hasil perhitungan daya mesin utama yang dibutuhkan untuk menggerakkan kapal.

### 1.2 Rumusan Masalah

Dalam perancangan propulsi, data-data tentang kapal yang meliputi rancang garis (*Lines Plan*), dan gambar *propeller* digunakan untuk mencari nilai *Shaft Horse Power* (SHP atau  $P_s$ ) yang dibutuhkan. Untuk menemukan nilai  $P_s$  menggunakan data-data tersebut, terlebih dahulu dilakukan perhitungan untuk menemukan nilai tahanan total dan dilakukan uji *open water* untuk dapat mengetahui karakteristik dari *propeller* yang akan digunakan. Setelah itu hasil yang didapatkan dibandingkan dengan hasil dari eksperimen yang dilakukan oleh BTH. Maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

- a. Berapa perbandingan nilai tahanan total ( $R_T$ ) yang diakibatkan pada tiap variasi kecepatan?

- b. Berapa nilai performa yang dihasilkan oleh *propeller* (KQ, KT, dan efisiensi)?
- c. Berapa perbandingan nilai daya ( $P_s$ ) yang dibutuhkan oleh kapal untuk melaju pada tiap variasi kecepatan?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan berapa beda berikut berdasarkan perbandingan analisa numerik dan eksperimen.

- a. Perbandingan nilai tahanan total yang diakibatkan pada tiap variasi kecepatan
- b. Performa *propeller*
- c. Perbandingan nilai daya yang dibutuhkan oleh kapal untuk melaju pada tiap variasi kecepatan

### 1.4 Batasan Penelitian

Adapun batasan-batasan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

- a. Pada perencanaan ini kapal yang digunakan yaitu kapal patroli 75 m dengan kecepatan servis 18 knot.
- b. Jenis *propeller* yang digunakan yaitu tipe *Symetrical Blade* (hasil eksperimen BTH)
- c. Metode yang digunakan untuk menghitung tahanan adalah Metode Holtrop-Mannen dengan perangkat lunak Maxsurf 8.1 sebagai *solver*.
- d. Uji open water test untuk mengetahui performa *propeller* dilakukan dengan metode CFD).
- e. Perangkat lunak yang digunakan dalam metode CFD yaitu NUMECA Fine /Marine versi 7.1.
- f. Perangkat lunak yang digunakan dalam pemodelan 3D yaitu Rhino versi 6.1
- g. Tidak dilakukan perhitungan kekuatan material.
- h. Tidak dilakukan analisa pada segi ekonomis

### 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

- a. Manfaat yang didapat bagi penulis yaitu menerapkan ilmu yang telah dipelajari selama masa perkuliahan.
- b. Manfaat bagi pembaca yaitu dapat menambah wawasan dan dapat menjadi acuan untuk melakukan penelitian pada bidang kajian yang sama

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Tahanan Kapal

Tahanan yang terjadi pada kapal ketika bergerak melalui air dapat dibagi menjadi dua jenis tahanan, yaitu: tahanan gesek dan tahanan residual (Fouling, 1952). Tahanan sisa adalah kuantitas yang merupakan hasil pengurangan dari hambatan total badan kapal dengan hambatan gesek dari permukaan kapal. Tahanan gesek timbul dari gaya gesekan yang dibentuk oleh aliran air di sepanjang permukaan lambung, yang dipengaruhi oleh *fouling* dan pelapisan cat digunakan untuk pencegahannya.

Hambatan total kapal terdiri dari beberapa komponen hambatan, yang pertama yaitu *viscous resistance* (hambatan kekentalan) yang merupakan penjumlahan dari *friction resistance* dengan *viscous pressure resistance*. Kedua adalah *wave resistance* (hambatan yang diakibatkan oleh gelombang kapal). Metode yang digunakan dalam perhitungan hambatan kali ini adalah Metode Holtrop & Mennen. Berikut rumus hambatan total kapal (Lewis, 1988; Holtrop, 1984):

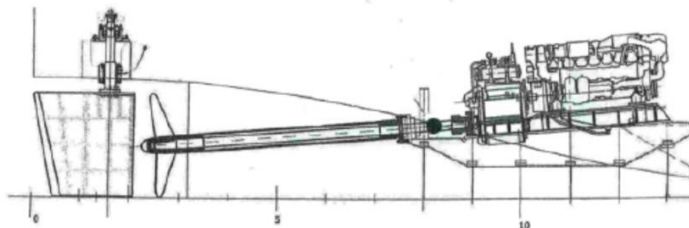
$$R_t = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot S_{tot} [C_f \cdot (1 + k) + C_A] + R_W/W \quad (2.1)$$

dimana:

$R_t$	: Total tahanan	(R)
$\rho$	: Massa jenis fluida	
$v$	: Kecepatan kapal	(m/s)
$S_{tot}$	: Luas Permukaan Basah	
$k$	: Koefisien Bentuk	
$C_f$	: Koefisien Gesek	
$C_A$	: Koefisien Tahanan Udara	
$R_W/W$	: Koefisien Tahanan Gelombang	

### 2.2 Sistem Propulsi

Sebuah kapal harus mampu untuk mempertahankan kecepatan dinas ( $V_s$ ) selama beroperasi di laut seperti yang telah direncanakan. Dapat disimpulkan bahwa sebuah kapal harus mempunyai rancangan sistem propulsi yang dapat mengatasi tahanan total ( $R_T$ ) yang terjadi agar memenuhi standar kecepatan dinasnya (Adji, 2006). Sistem propulsi saat ini yang paling sering digunakan adalah sistem propulsi mekanis. Contoh sistem propulsi mekanis dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Sistem propulsi mekanis  
(Vulid, 2015)

Secara umum, seperti pada Gambar 2.1, Sistem Propulsi Kapal terdiri dari 3 (tiga) komponen utama, antara lain :

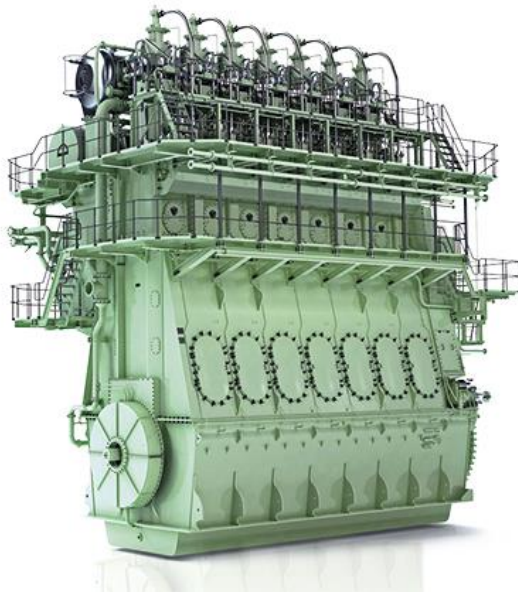
- a. Motor Penggerak Utama (*main engine*)
- b. Sistem Transmisi
- c. Alat Gerak (*propulsor*).

Ketiga komponen utama ini merupakan suatu kesatuan yang didalam proses perencanaannya tidak dapat ditinjau secara terpisah. Menurut Adji (2006), kesalahan didalam perancangan akan membawa ‘konsekuensi’ yang sangat besar terhadap kondisi-kondisi sebagai berikut:

- a. Tidak tercapainya kecepatan dinas kapal yang direncanakan.
- b. Konsumsi bahan bakar yang tidak efisien.
- c. Turunnya nilai ekonomis dari kapal tersebut.
- d. Pengaruh pada tingkat vibrasi yang terjadi pada badan kapal, dsb.

### 2.2.1 Motor Penggerak Utama

Motor penggerak utama kapal adalah motor yang digunakan untuk menggerakkan sistem penggerak utama pada kapal, yang diklasifikasikan berdasarkan putaran poros engkol (*crankshaft*) per menit (rpm). Diklasifikasikan menjadi 3 jenis, yaitu mesin dengan kecepatan rendah dengan putaran kurang dari 400 rpm, mesin dengan kecepatan sedang dengan putaran 400-1000 rpm, dan mesin dengan kecepatan tinggi dengan putaran lebih dari 1000 rpm (Kemendikbud, 2013). Pada Gambar 2.2 Diperlihatkan contoh Gambar 2.2 dari mesin berputaran rendah



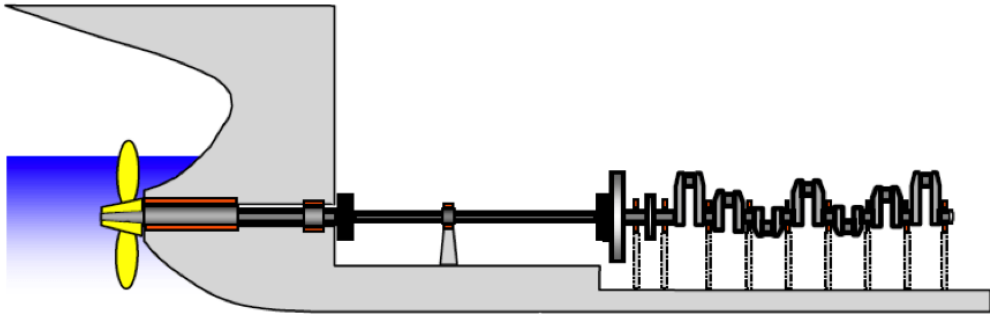
Gambar 2. 2 Mesin diesel MAN B&W two-stroke  
(sumber: Marine-MAN, 2019)

Kebanyakan kapal pada saat ini menggunakan mesin diesel sebagai motor penggerak utama. Gambar 2.2 adalah contoh gambar mesin diesel dengan kecepatan rendah pabrikan MAN B&W.



### 2.2.2 Sistem Transmisi

Pada mayoritas kapal, mesin (diesel atau turbin gas) atau motor listrik menggerakkan baling-baling melalui hubungan poros, *reducer*, dan bantalan (*bearing*) (Burke and Michael, 2006) seperti pada Gambar 2.3. Hubungan ini disebut dengan system transmisi. Sistem transmisi membantu menyalurkan daya yang dihasilkan oleh motor penggerak utama ke alat gerak (propulsor). Pada beberapa kapal dipasang gearbox untuk mengurangi kecepatan dari motor penggerak utama yang disalurkan ke poros.



Gambar 2. 3 Shafting  
(sumber: Charkaborty, 2019)

### 2.2.3 Propulsor

Propulsor adalah alat gerak yang digunakan pada sistem propulsi mekanik kapal. Propulsor diklasifikasikan menjadi dua, yaitu propulsor non mekanik dan propulsor mekanik (Adji, 2006). Propulsor non mekanik contohnya adalah dayung dan layar. Sedangkan propulsor mekanik memiliki jenis yang lebih banyak. Contoh dari propulsor mekanik dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Wartsila CPP  
(sumber: Wartsila, 2019a)

Jenis-jenis propulsor mekanik yaitu:

- a. *Fixed Pitch Propeller*
- b. *Ducted Propeller*
- c. *Contra-Rotating Propeller*
- d. *Overlapping Propeller*
- e. *Controllable Pitch Propeller*
- f. *Waterjet Propulsion System*
- g. *Cyclodial Propeller*
- h. *Paddle Wheels*
- i. *Superconducting Electric Propulsion System*
- j. *Azimuth Padded Propulsion System*
- k. *Rim Driven Propeller*

#### 2.2.4 *Propeller Konvensional*

*Fixed Pitch Propeller* (FPP) atau yang biasanya disebut dengan *propeller* konvensional adalah jenis *propeller* yang paling banyak dijumpai. Contoh FPP dapat dilihat pada Gambar 2.5. "*Pitch*" menggambarkan seberapa banyak bilah-baling diputar relatif terhadap lintasan yang dilaluinya (Kumar, 2014). Ini juga dikenal sebagai *angle of attack*, dan biasanya diukur dalam satuan inci. Ketika baling-baling berputar melalui air atau udara, jika bergerak maju mengikuti sudut *pitch* dengan sempurna, dan bergerak maju 10 inci dalam satu revolusi penuh, dikatakan memiliki *pitch* 10 inci.

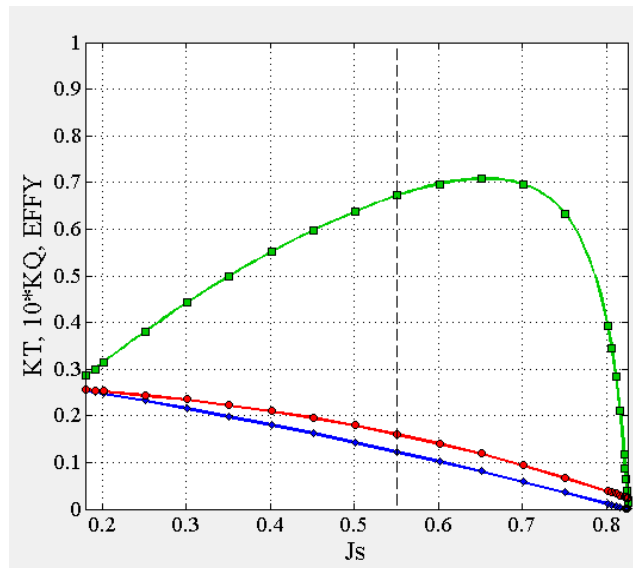


Gambar 2. 5 Wartsila FPP  
(sumber: Wartsila, 2019b)

*Fixed Pitch Propeller* memiliki *pitch* yang tidak dapat disesuaikan atau diubah. Propeller ini memiliki satu *pitch*, yang biasanya merupakan perstuan antara kecepatan dan kekuatan.

## 2.3 Uji Open Water

Pengujian *open water* pada *propeller* digunakan dalam analisis kemampuan propulsi dan mengestimasi power yang dibutuhkan (ITTC, 2014). Pengujian Open Water dilakukan dengan memutar propeller pada kecepatan tertentu dengan memvariasikan kecepatan  $V_a$  (kecepatan aliran air pada *disc propeller*), sehingga akan dapat diukur nilai Speed, Rpm, Thrust dan Torque dari Propeller. Dengan demikian akan dapat dicari efisiensi propeller ( $\eta_0$ ) dan  $KT$ ,  $KQ$  dari Open water testnya (Nalli, 2011) dengan menggunakan persamaan 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, dan 2.6 dengan hasil berupa diagram seperti Gambar 2.6. Disebut kondisi terbuka karena di mana baling-baling tidak terhalang oleh lambung dan sepenuhnya terkena air di sekitarnya. Maka, dalam kondisi ini nilai  $V_a$  bernilai sama dengan nilai  $V_s$  (kecepatan servis kapal).



Gambar 2. 6 Diagram karakteristik open water

$$KT = \frac{T_{prop}}{\rho \cdot n^2 \cdot D^4} \quad (2.2)$$

$$KT = \beta \cdot J^2 \quad (2.3)$$

$$KQ = \frac{Q_{prop}}{\rho \cdot n^2 \cdot D^5} \quad (2.4)$$

$$J = \frac{V_a}{n \cdot D} \quad (2.5)$$

$$\eta_o = \frac{J \cdot KT}{2\pi \cdot KQ} \quad (2.6)$$

dimana:

KT : Koefisien Thrust

KQ : Koefisien Momen

J	: Koefisien Lanjutan <i>Propeller</i>	
$\eta_0$	: Efisiensi <i>Propeller</i>	
$T_{prop}$	: Thrust <i>Propeller</i>	(kN)
$Q_{prop}$	: Momen <i>Propeller</i>	(Nm)
$\rho$	: Masa Jenis Fluida	
n	: Putaran <i>Propeller</i>	(Hz)
D	: Diameter Luar <i>Propeller</i>	(m)
$V_a$	: Kecepatan lanjutan	(m/s)

Uji *Open Water* sebagian besar dilakukan di *Towing Tank*. Selain itu, karakteristik baling-baling juga dapat ditentukan dengan melakukan test pada *Cavitation Tunnel*. Meskipun prosedur tes untuk memperoleh karatersitik open water propeller di cavitation tunnel dan towing tank berbeda, namun karaktersitik propeller yang diperoleh adalah sama dalam analisa propulsi dan power yang dibutuhkan (Nalli,2011). Pada tugas akhir ini uji *Open Water* digantikan dengan menggunakan perangkat lunak pengolah CFD.

## 2.4 Daya Motor Penggerak

Ada beberapa pengertian mengenai daya yang sering digunakan didalam melakukan estimasi terhadap kebutuhan daya pada sistem penggerak kapal, antara lain : Daya Efektif (*Effective Power*- $P_E$ ); Daya Dorong (*Thrust Power*- $P_T$ ); Daya yang disalurkan (*Delivered Power*- $P_D$ ); Daya Poros (*Shaft Power*- $P_s$ ); Daya Rem (*Brake Power*- $P_B$ ); dan Daya yang diindikasi (*Indicated Power*- $P_i$ ).

Daya Efektif ( $P_E$ ) adalah besarnya daya yang dibutuhkan untuk mengatasi gaya hambat dari badan kapal (*hull*), agar kapal dapat bergerak dari satu tempat ke tempat yang lain dengan kecepatan servis sebesar  $V_s$ . Daya Efektif ini merupakan fungsi dari besarnya gaya hambat total dan kecepatan kapal. Untuk mendapatkan besarnya Daya Efektif kapal, dapat digunakan Persamaan 2.7.

$$P_E = R_T \cdot V_S \quad (2.7)$$

dimana:

$P_E$	: Daya Efektif	(kWatt)
$R_T$	: Tahanan Total	(kN)
$V_s$	: Kecepatan Servis	(Knot)

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 seperti pada Persamaan 2.8.

$$P_T = T \cdot V_A \quad (2.8)$$

dimana:

$P_T$	: Daya Dorong	(kWatt)
T	: Gaya Dorong ( <i>thrust</i> )	(kN)
$V_A$	: Kecepatan lanjutan	(m/s)

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 seperti pada Persamaan 2.9.

$$P_D = 2 \cdot \pi \cdot Q_D \cdot n_P \quad (2.9)$$

dimana:

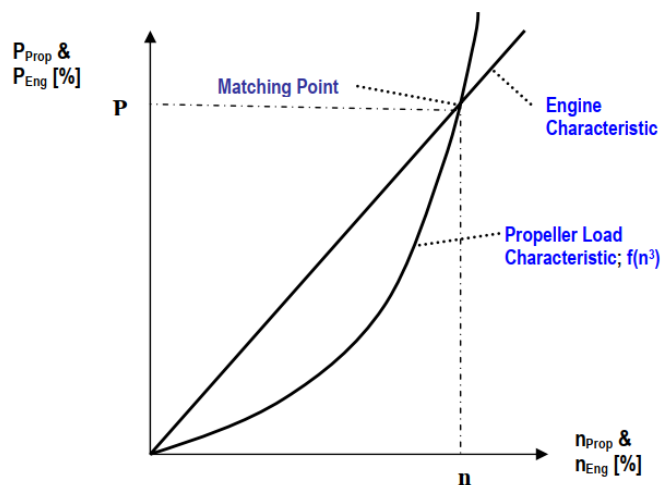
$P_D$	: Daya Yang Disalurkan	(kWatt)
$Q_D$	: Torsi Propeller	(kN)
$n_P$	: Putaran Propeller	(rps)

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 berpengerak dengan *Turbin Gas*, pada umumnya, daya yang digunakan adalah  $P_s$ . Sementara itu, istilah Daya Rem (*Brake Power, P<sub>B</sub>*) adalah daya yang dihasilkan oleh motor penggerak utama (*main engine*) dengan tipe *marine diesel engines*.

Pada sistem penggerak kapal yang menggunakan *Marine Diesel Engines* (*type of medium to high speed*), maka pengaruh rancangan sistem transmisi perporosan adalah sangat besar didalam menentukan besarnya daya  $P_s$ . Jika kamar mesin terletak dibelakang dari badan kapal, maka besarnya *losses* akibat sistem transmisi perporosan tersebut adalah berkisar 2 - 3 %. Namun bila kamar mesin terletak agak ke tengah atau jauh di depan, maka besarnya *losses* akan semakin bertambah.

## 2.5 Engine-Propeller Matching

*Matching point* adalah suatu titik batas operasi dari putaran mesin utama (*engine speed*) dengan nilai tertentu hingga tepat dengan karakter beban dari *propeller*, yaitu titik operasi putaran motor dimana daya yang dibutuhkan oleh propeller sama dengan daya yang dihasilkan oleh mesin dan menghasilkan kecepatan kapal yang mendekati atau sama persis dengan kecepatan servis kapal yang direncanakan (Adji, 2005). Untuk dapat menyamakan kedua garis tren, karakteristik *propeller* dan karakteristik mesin utama, ke dalam satu sarana info grafis yang sama, maka nilai dari kedua garis tren dijadikan dalam persen (%), dengan contoh sebagai berikut:



Gambar 2. 7 Matching point propeller dan mesin utama  
(sumber: Adji, 2005)

Putaran mesin utama (n), menjadi titik operasi putaran mesin penggerak utama yang sesuai dengan karakteristik beban dari *propeller*. Hal tersebut disebabkan karena daya yang dihasilkan oleh mesin utama adalah sama dengan daya yang diserap oleh *propeller*. Jika hal ini diterapkan pada kapal, maka penggunaan bahan bakar mesin penggerak utama ketika kapal bergerak pada kecepatan dinas ( $V_s$ ) menjadi efisien.

## 2.6 Metode Computational Fluid Dynamics

*Computational Fluid Dynamics* adalah metode cabang mekanika fluida yang menggunakan analisa numerik dan struktur data untuk melakukan analisa dan memecahkan masalah tentang aliran fluida (Giffari, 2017). Pada metode ini komputer digunakan untuk melakukan simulasi aliran fluida dan interaksi fluida (cairan dan gas) dengan permukaan yang didesain. Sekarang, dengan adanya komputer berkecepatan tinggi, tingkat hasil pekerjaan dengan menggunakan metode ini semakin mendekati sempurna, dan metode seringkali digunakan untuk memecahkan masalah yang kompleks. Penelitian yang terus berlangsung menghasilkan perangkat lunak yang semakin lama memiliki tingkat akurasi dan kecepatan skenario simulasi yang semakin kompleks.

NUMECA adalah salah satu merk dagang dari perusahaan internasional penyedia perangkat lunak CFD. NUMECA memiliki perangkat lunak untuk melakukan pengolahan desain, *meshing*, dan *solver* untuk perangkat lunak pengolah CFD.

Pada penelitian ini, dalam melakukan *meshing* digunakan salah satu produk NUMECA yaitu NUMECA Hexpress. NUMECA Hexpress merupakan perangkat lunak untuk mengolah model dari volume fluida yang akan dianalisa dalam *solver*. Hexpress menyediakan fasilitas CAD Manipulation dimana model yang dibuat oleh *designer* dapat dengan mudah diolah dan siap dianalisa menggunakan CFD Solver. Langkah *meshing* menggunakan Hexpress yaitu sebagai berikut;

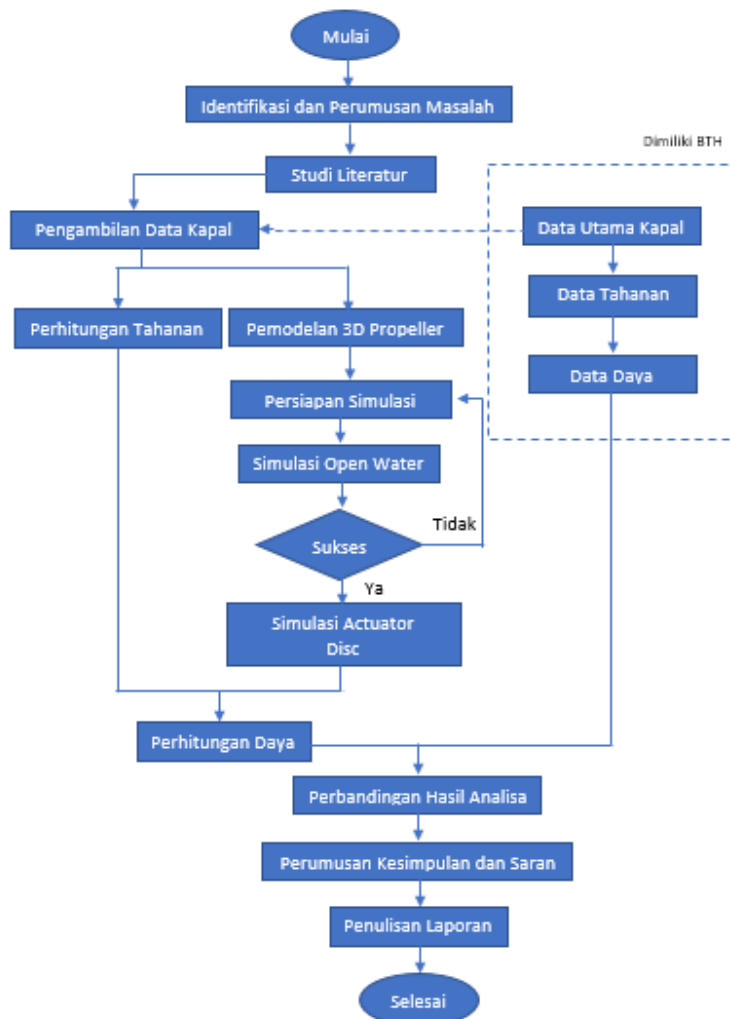
- a. Initial Mesh
- b. Adapt to Geometry
- c. Snap to Geometry
- d. Optimize
- e. Viscous Layer

Untuk perangkat lunak CFD Solver, pada tugas akhir ini digunakan NUMECA Fine/Marine. Perangkat lunak ini cocok untuk digunakan sebagai solver dalam memecahkan masalah aliran fluida pada aplikasi kelautan. Itu sebabnya perangkat lunak ini dipilih sebagai solver dalam melakukan simulasi *open water propeller test*.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Pendahuluan

Pada penelitian ini dilakukan perbandingan antara analisa sistem propulsi kapal cepat 75 m eksperimen dengan hasil numerik. Balai Teknologi Hidrodinamika (yang selanjutnya akan disebut dengan BTH) melakukan eksperimen untuk merancang sistem propulsi kapal cepat 75 m. Dengan data utama yang sama, dilakukan analisa dengan menggunakan perhitungan numerik. Maka alur metodologi penelitian yang dilakukan dapat dijabarkan seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Alur metodologi penelitian

### 3.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah

Langkah awal dalam melakukan penelitian ini yaitu melakukan identifikasi masalah. Dari masalah yang didapat kemudian dapat dirumuskan masalah-masalah yang harus diselesaikan dalam tugas akhir ini. Kemudian batasan masalah ditentukan. Hal ini dilakukan untuk memberikan arahan yang jelas dalam proses pengerjaan tugas akhir.

### 3.3 Studi Literatur

Studi ini merupakan tahap untuk mengumpulkan referensi sebagai acuan dalam pengerjaan tugas akhir. Referensi yang digunakan yaitu buku, tugas akhir, jurnal ilmiah, dan internet. Referensi yang digunakan harus sesuai dengan judul dari tugas akhir ini, yaitu meliputi tentang:

- a. Tahanan
- b. *Propeller*
- c. *Open Water Test*
- d. *Engine-Propeller Matching*
- e. *Computational Fluid Dynamics (CFD)*
- f. Referensi penunjang lainnya.

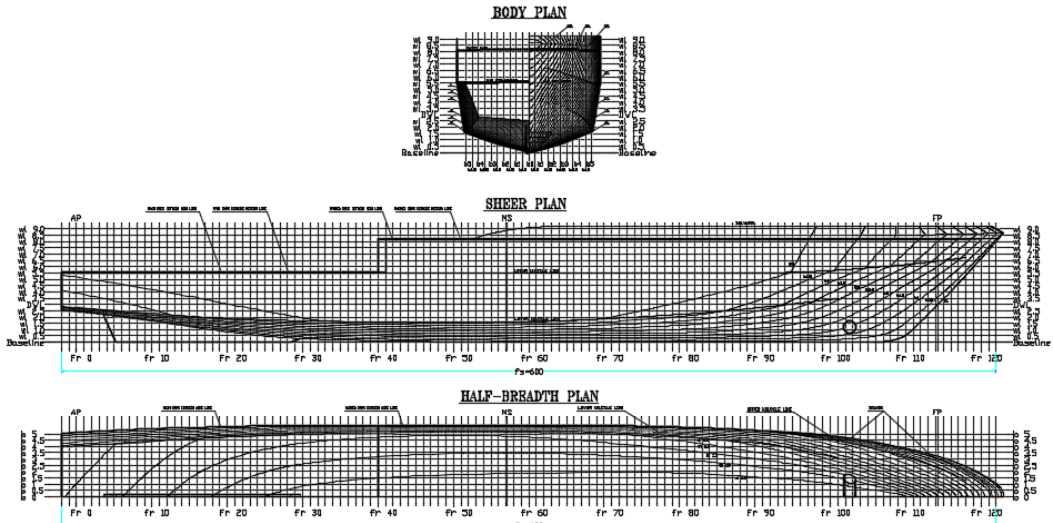
### 3.4 Pengambilan Data Kapal

Hal yang perlu disiapkan untuk melakukan analisa adalah data utama seperti yang di tampilkan pada Tabel 3.1. Data utama kapal didapatkan dari BTH. Data kapal yang dibutuhkan yaitu lines plan kapal (Gambar 3.2) dan gambar propeller (Gambar 3.3).

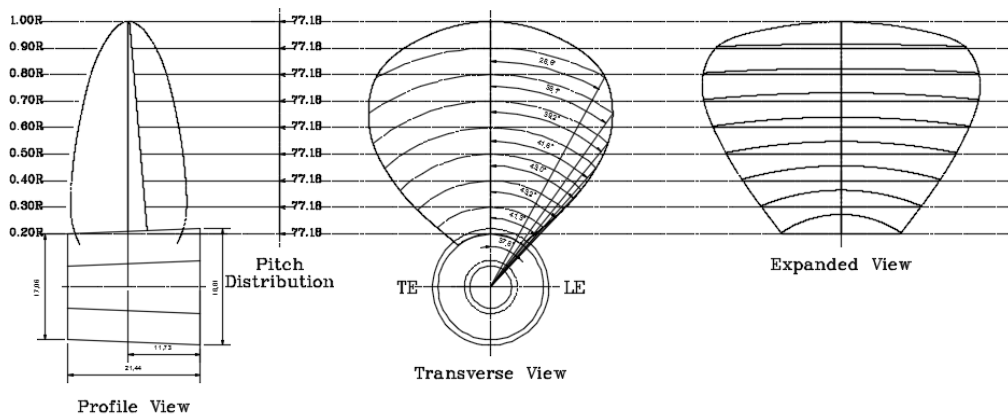
Tabel 3. 1 Data utama kapal

Data Utama					
Lpp	68,564	M	LWL/B	6,146608	
Lwl	69,764	M	B/T	3,783333	
B	11,35	M	CB	0,491	
H	5,5	M	CM	0,734	
T	3	M	CP	0,669	
Vs	18	Knot	CWP	0,844	
Disp	1175,675	Ton	Dprop	1,96	m
S	829	m <sup>2</sup>	Pprop	1,76	m
LCB	-1,407%	Lpp	P/D	0,9	





Gambar 3. 2 Rencana garis kapal cepat 75m



Gambar 3. 3 rancangan propeller symmetrical blade

### 3.5 Perhitungan Tahanan

Sebelum merancang *propeller* diperlukan analisa terhadap nilai tahanan. Pada analisa tahanan dicari nilai tahanan total ( $R_T$ ) dengan variasi kecepatan dari 15 knot sampai dengan 21 knot. Metode analisa numerik tahanan yang digunakan yaitu Metode *Holtrop-Mannen*. Dipilihnya Metode *Holtrop-Mannen* dikarenakan data utama kapal sesuai dengan batasan-batasan pada metode ini. Batasan-batasan tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3. 2 Batasan metode Holtrop-Mannen

Data	Batas
$F_n$	(0,1)
$C_p$	[0,55;0,85]
B/T	[2,1;4,0]
L/B	[3,9;14,9]

Data kapal cepat 75 m adalah sebagai berikut:

$$F_n = 0,35366$$

$$C_p = 0,669$$

$$B/T = 3,783$$

$$L/B = 6,147$$

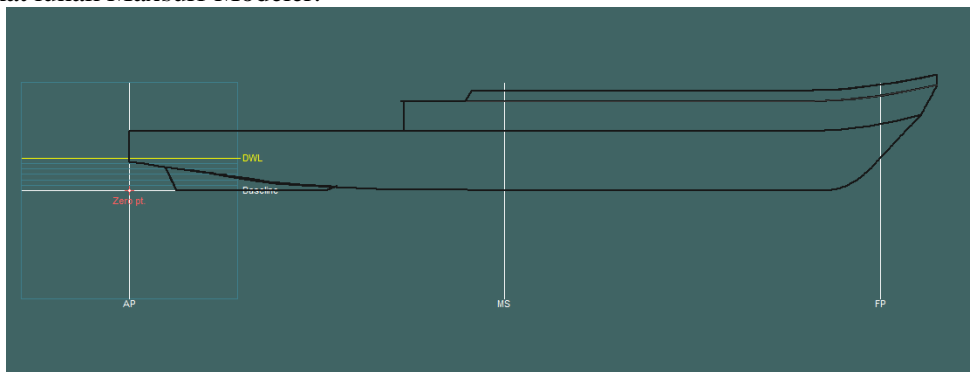
Pada Tabel 3.1 dan data kapal cepat 75 M diatas dapat dilihat bahwa karakteristik dari kapal cepat 75 M memenuhi batasan yang ada. Sehingga dapat dikatakan bahwa perhitungan nilai tahanan menggunakan metode Holtrop-Mannen dapat dilakukan pada kapal tersebut.

Pada perhitungan tahanan ini dilakukan dua jenis perhitungan, yaitu dengan metode numerik menggunakan Maxsurf v8.1 dan dengan perhitungan matematis secara manual dengan menggunakan Microsoft Excel. Hasil dari kedua perhitungan ini nantinya akan dibandingkan dengan hasil eksperimen pada *Towing Tank*.

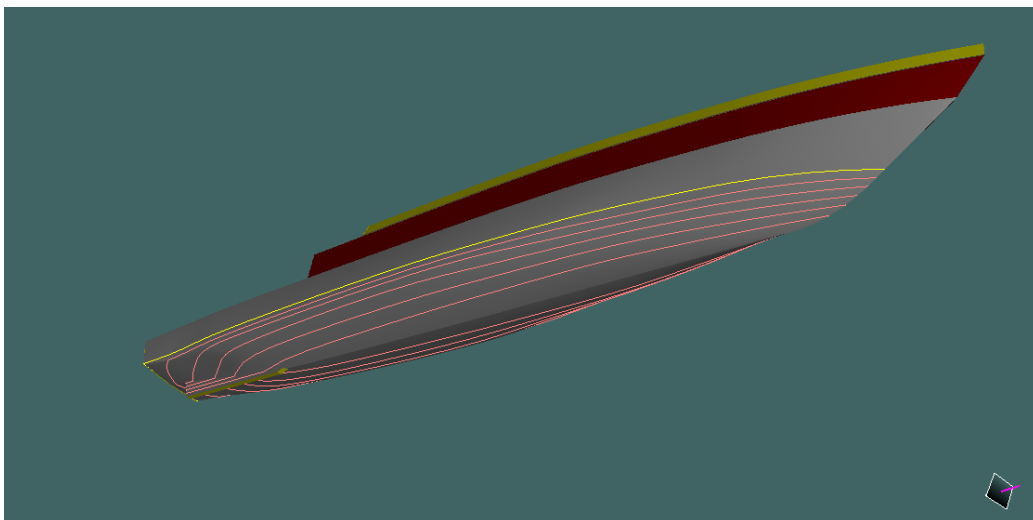
### 3.5.1 Analisa Tahanan Menggunakan Maxsurf

Maxsurf terdiri dari beberapa perangkat lunak yang dapat digunakan untuk merancang perancangans model kapal. Salah satu perngkat lunak yang disediakan yaitu *Maxsurf Resistance*. Perangkat lunak ini dapat membantu pengguna untuk melakukan analisa numerik tahanan pada sebuah model 3D kapal.

Sebelum memulai analisa, terlebih dahulu dilakukan perancangan model 3D kapal. Perancangan model dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Maxsurf Modeler. Gambar 3.4 dan Gambar 3.5 hasil permodelan menggunakan perangkat lunak Maxsurf Modeler:



Gambar 3. 4 Tampak samping model 3D



Gambar 3. 5 Tampilan prespektif model 3D

Selanjutnya model 3D kapal divalidasi dengan membandingkan karakteristik model dengan data kapal. Model 3D yang digunakan memiliki skala penuh. Perbandingan keduanya dapat dilihat pada Tabel 3.3.

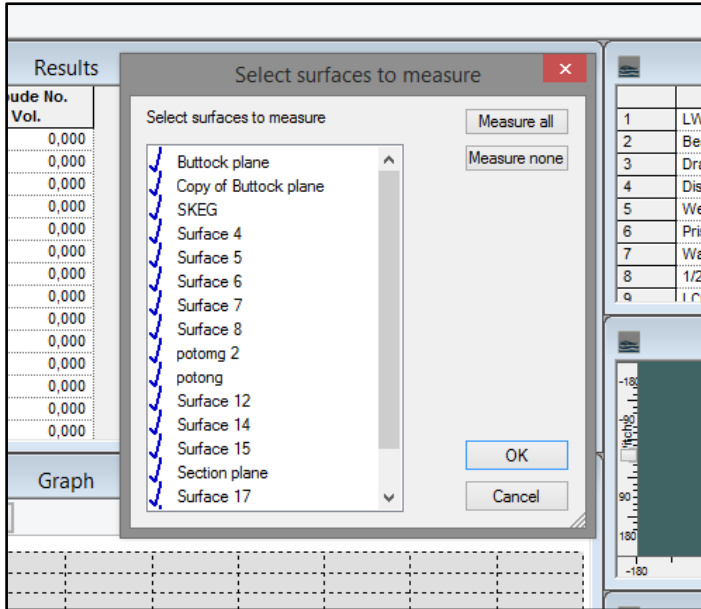
Tabel 3. 3 Validasi model kapal

Data Utama	Kapal	Model 3D	Selisih (%)
Displacement	1147 m <sup>3</sup>	1105,996 m <sup>3</sup>	3,57%
LWL	69,764 m	69,659 m	0,15%
Draft	3 m	3,089 m	2,97%
Froude Number	0,354	0,354	0%

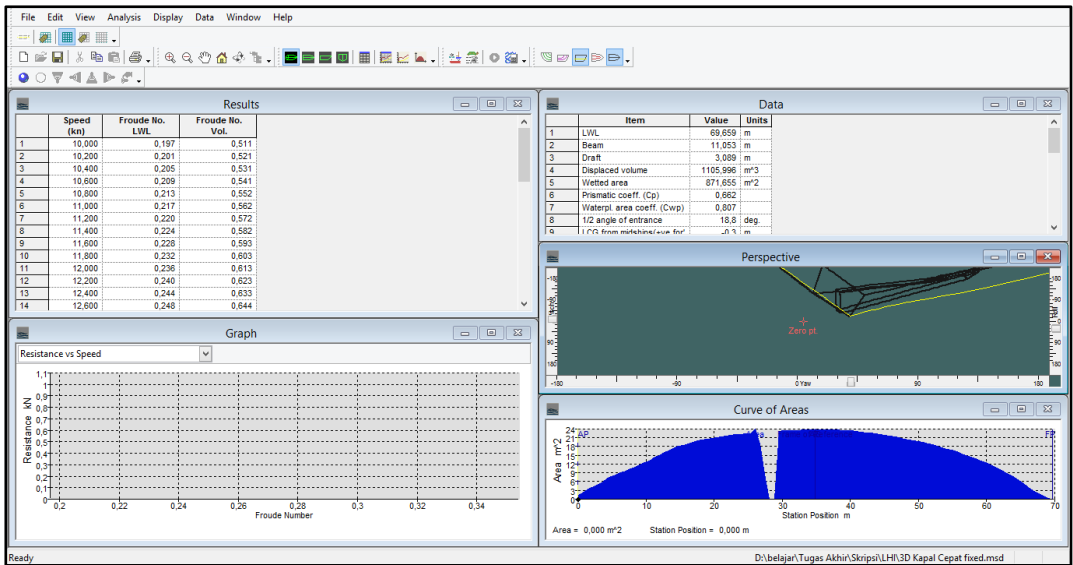
Nilai perbandingan tersebut mengidentifikasi bahwa model 3D yang telah dirancang dapat dikatakan valid. Validasi ini berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Astra (2008).

Setelah itu model 3D dibuka pada perangkat lunak Maxsurf Resistance. Setelah membuka program maka akan muncul notifikasi seperti pada Gambar 3.6. Pada notifikasi tersebut akan muncul daftar bagian-bagian pada desain 3D seperti pada Gambar 3.7. Kemudian opsi “*measure all*” dipilih agar dapat dilakukan analisa pada tiap bagian desain.

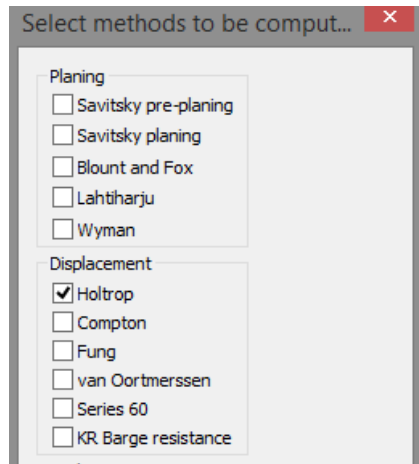
Setelah itu dilakukan pemilihan metode analisis, dipilih Metode Holtrop-Mannen. Pada Gambar 3.8 dapat dilihat opsi metode yang dapat diproses menggunakan Maxsurf Resistance. Untuk efisiensi *hull* di-*input* sebesar 51,22% (efisiensi lambung kapal). Speed range di atur antara 15 knot sampai dengan 21 knot. Baru lah kemudian hasil dari analisa dapat dilihat seperti pada Gambar 3.9 dan Tabel 3.4.



Gambar 3. 6 Pemilihan surface pada model 3D yang akan dianalisis



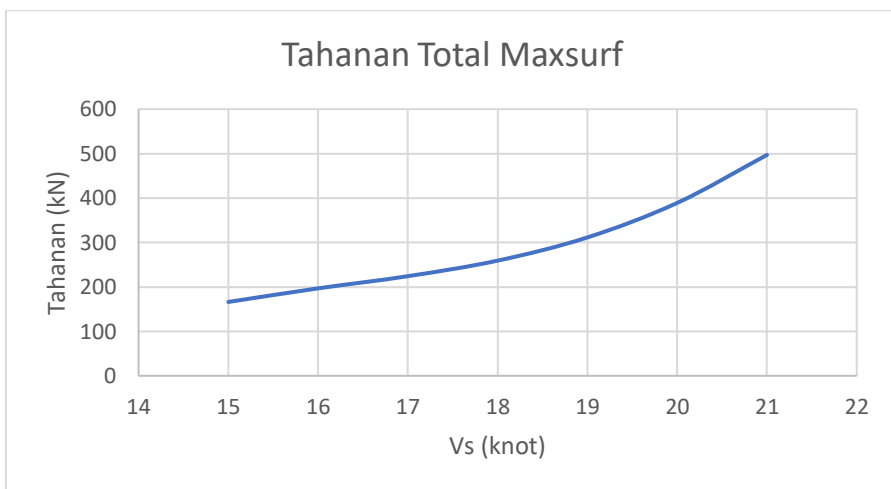
Gambar 3. 7 Tampilan awal Maxsurf Resistance



Gambar 3. 8 Pemilihan metode analisa tahanan

Tabel 3. 4 Hasil analisa menggunakan Maxsurf

Vs(Knot)	Vs(m/s)	Rt (kN)
15	7,71	165,5859
16	8,224	195,5275
17	8,738	223,3519
18	9,252	258,8886
19	9,766	312,1181
20	10,28	391,2061
21	10,794	499,9333



Gambar 3. 9 Diagram tahanan total Maxsurf

### 3.5.2 Perhitungan Matematis

Pada Metode Holtrop-Mannen, jenis tahanan dibagi menjadi 6, yaitu tahanan gesek ( $R_f$ ), tahanan tambahan ( $R_{app}$ ), tahanan gelombang ( $R_w$ ), tahanan Bulbous-Bow ( $R_b$ ), tahanan transom ( $R_{tr}$ ), dan tahanan korelasi model-kapal ( $R_A$ ). Pada perhitungan ini keenam jenis tahanan dihitung. Ketika menggunakan Maxurf Resistance, jenis tahanan yang disa dianalisa hanya tahanan total saja. Perhitungan dilakukan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel.

Untuk mencari tahanan total maka ke enam tahanan seluruhnya dijumlah. Khusus untuk  $R_b$  dan  $R_{tr}$  bernilai 0. Hal ini dikarenakan pada desain kapal tidak ada Bulbous Bow dan transom. Detail perhitungan dapat dilihat pada lampiran. Pada Tabel 3.5 dapat dilihat nilai tiap tahanan dan jumlah tahanan total.

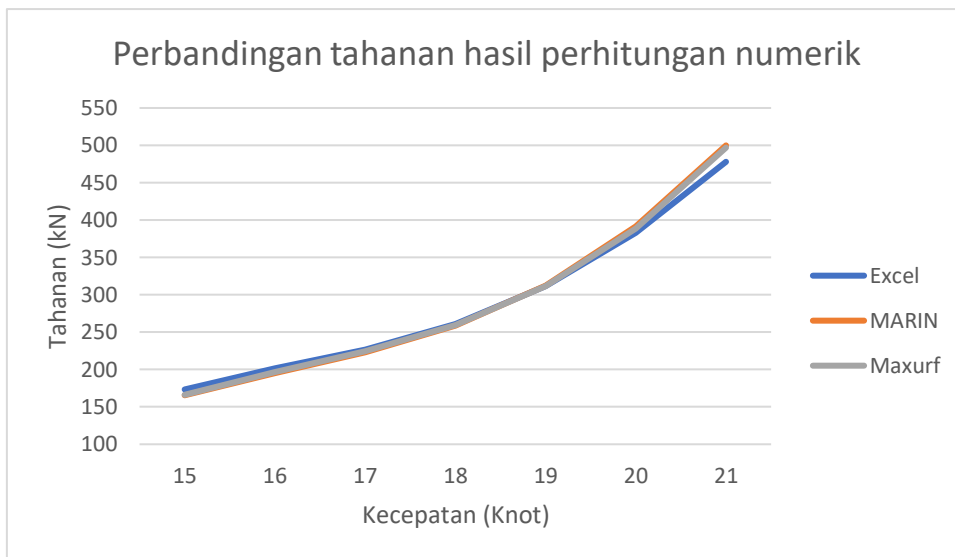
Tabel 3. 5 Hasil perhitungan tahanan secara matematis

$V_s$ (Knot)	$R_f$ (kN)	$R_{app}$ (kN)	$R_w$ (kN)	$R_b$ (kN)	$R_{tr}$ (kN)	$R_A$ (kN)
15	74,31526	0,002603	54,32839978	0	0	22,48005608
16	83,85986	0,002938	66,13237005	0	0	25,57730825
17	93,94232	0,003291	74,87698723	0	0	28,87438314
18	104,5589	0,003663	90,61339931	0	0	32,37128075
19	115,7062	0,004053	119,7924941	0	0	36,06800108
20	127,3809	0,004462	166,5605931	0	0	39,96454413
21	139,5799	0,00489	232,7268233	0	0	44,06090991

Setelah itu hasil perhitungan manual dibandingkan dengan hasil analisa menggunakan Maxsurf. Selain data dari perangkat lunak Maxurf, juga dibandingkan dengan hasil Analisa dengan menggunakan perangkat lunak MARIN. Hasil analisa menggunakan perangkat lunak MARIN didapat dari BTH Perbandingan nilai tahanan total ketiganya dapat dilihat pada tabel 3.6 dan Gambar 3.10.

Tabel 3. 6 Perbandingan hasil analisa numerik

$V_s$ (Knot)	$R_{tsm}$ (kN)	$R_t$ MARIN (kN)	$R_t$ Maxurf (kN)
15	173,7953	165,5859	165,5859
16	201,9084	195,52746	195,52746
17	227,3515	223,35194	223,35194
18	261,6794	258,88864	258,88864
19	312,3064	312,11808	312,11808
20	383,9971	391,20614	391,20614
21	478,8284	499,93332	499,93332



Gambar 3. 10 Diagram perbandingan hasil analisa numerik

Rata-rata perbedaan hasil perhitungan tahanan dengan menggunakan perhitungan manual dan analisa maxsurf pada kecepatan 15 knot sampai dengan 21 knot adalah 2,43%. Garis terlihat semakin menjauh mulai dari kecepatan 20 knot. Beda bentuk garis ini kemungkinan besar disebabkan oleh kesalahan dalam input dalam perhitungan tahanan secara manual.

Berbeda dengan jika hasil perhitungan menggunakan Maxsurf dibandingkan dengan menggunakan MARIN. Kedua perangkat lunak yang didesain untuk perhitungan numerik tahanan ini memiliki nilai tahanan total yang hampir mendekati 100% pada tiap kecepatan. Nilai hasil dari ketiga perhitungan memiliki dapat dikatakan valid berdasarkan penelitian sebelumnya (Astra, 2008). Untuk perhitungan selanjutnya (perhitungan daya) akan digunakan hasil perhitungan dari perangkat lunak Maxsurf Resistance.

### 3.6 Permodelan 3D Propeller

Propeller yang digunakan yaitu tipe *symmetrical blade*, yang dikembangkan oleh BTH. Data yang didapatkan dari BTH yaitu *polysurface* propeller hasil pengerjaan menggunakan perangkat lunak PropCad, yang selanjutnya dimodelkan menjadi gambar 3D yang utuh menggunakan perangkat lunak Rhino 6.

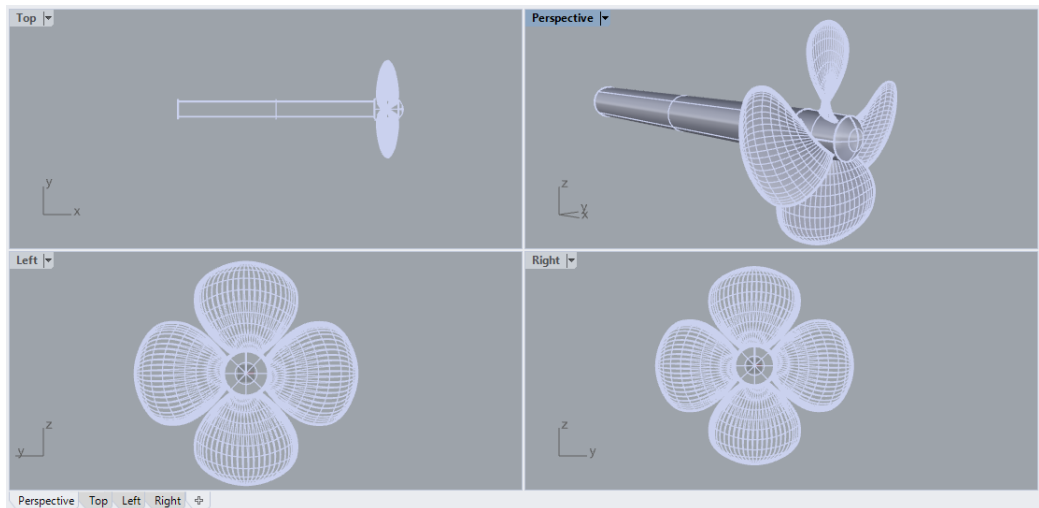
Surface yang didapat dari perangkat lunak PropCad dimodelkan menjadi sebuah *closed solid polysurface* dengan berpedoman pada data yang disajikan pada Tabel 3.7 dan tabel 3.8. Kemudian ditambahkan shaft seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.11.

Tabel 3. 7 Data utama propeller

Data Utama	Ukuran
Diameter	1960 mm
Radius luar	980 mm
Radius dalam	430 mm
Pitch	1764 mm
P/D	0,9

Tabel 3. 8 Tabel offset propeller

r/R	Radius	Jarak R (5°)	Jarak R 1/2(5°)	H/72
0,2	196	17,10	8,55	24,50
0,3	294	25,64	12,82	24,50
0,4	392	34,19	17,10	24,50
0,5	490	42,74	21,37	24,50
0,6	588	51,29	25,64	24,50
0,7	686	59,83	29,92	24,50
0,8	784	68,38	34,19	24,50
0,9	882	76,93	38,47	24,50
1	980	85,48	42,74	24,50



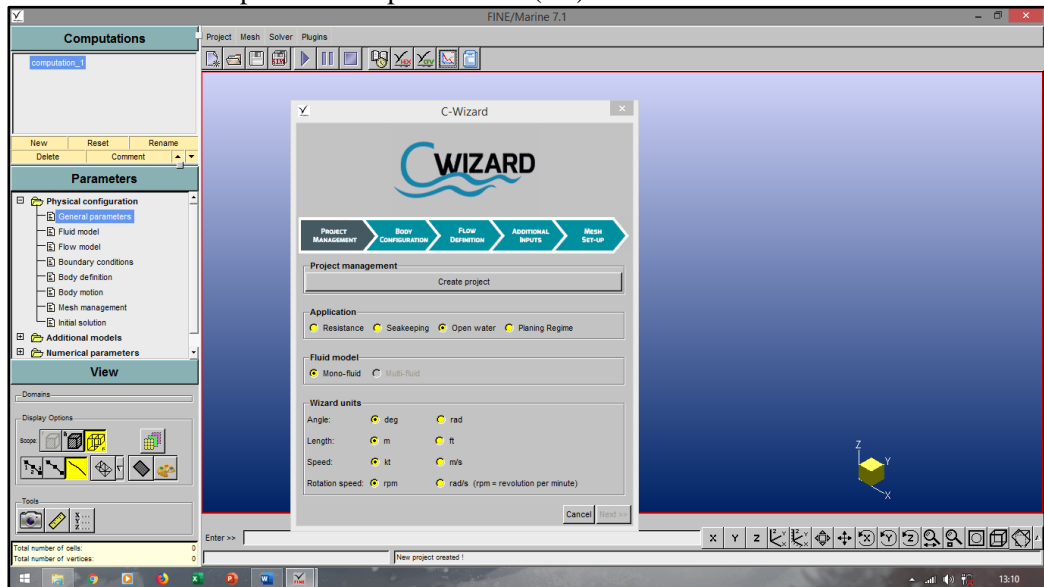
Gambar 3. 11 Hasil permodelan 3D propeller

### 3.7 Simulasi Open Water

Hasil permodelan 3 dimensi menggunakan Rhino digunakan untuk melakukan simulasi open water dengan menggunakan NUMECA Fine Marine. File 3D propeller dalam bentuk Parasolid (format x\_t) di-import menuju C-Wizard. Tampilan C-Wizzard



dapat dilihat pada Gambar 3.12. Arah inlet fluida diatur dari arah -x (face propeller). Putaran diatur 600 rpm dan kecepatan aliran ( $V_a$ ) diatur 18 knot.

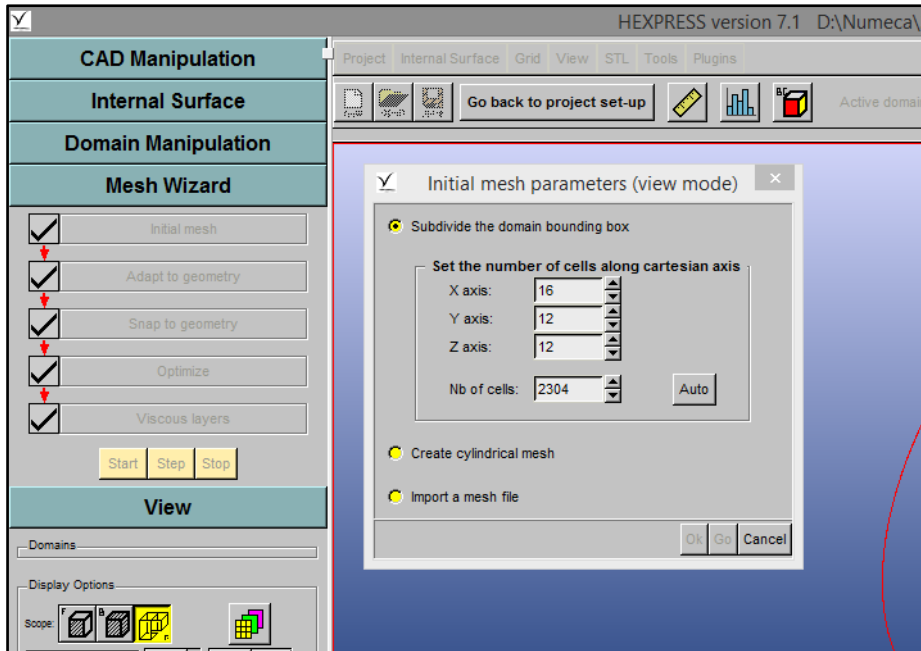


Gambar 3. 12 C-Wizzard

Sebelum dilakukan simulasi, dilakukan *meshing* model menggunakan HEXPRESS (salah satu fitur NUMECA). Berikut urutan dari proses *meshing*:

a. Initial mesh

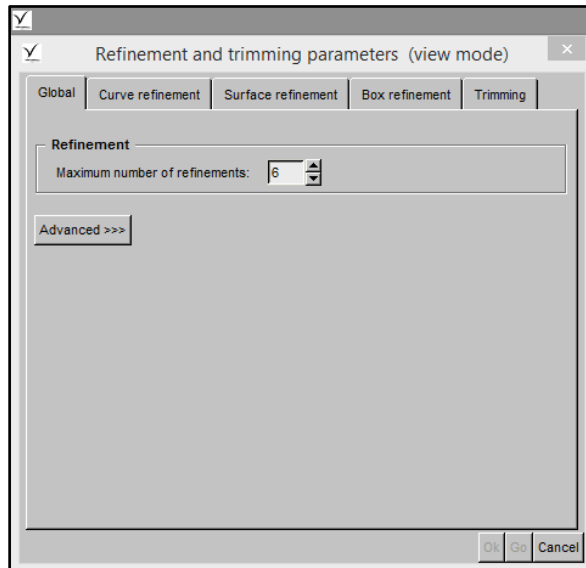
Initial mesh adalah proses pembagian geometri dari seluruh domain model. Domain dibagi menjadi cell berbentuk persegi, umumnya persegi panjang, sesuai domain yang didefinisikan. Pengaturan Initial Mesh dapat dilihat pada Gambar 3.13.



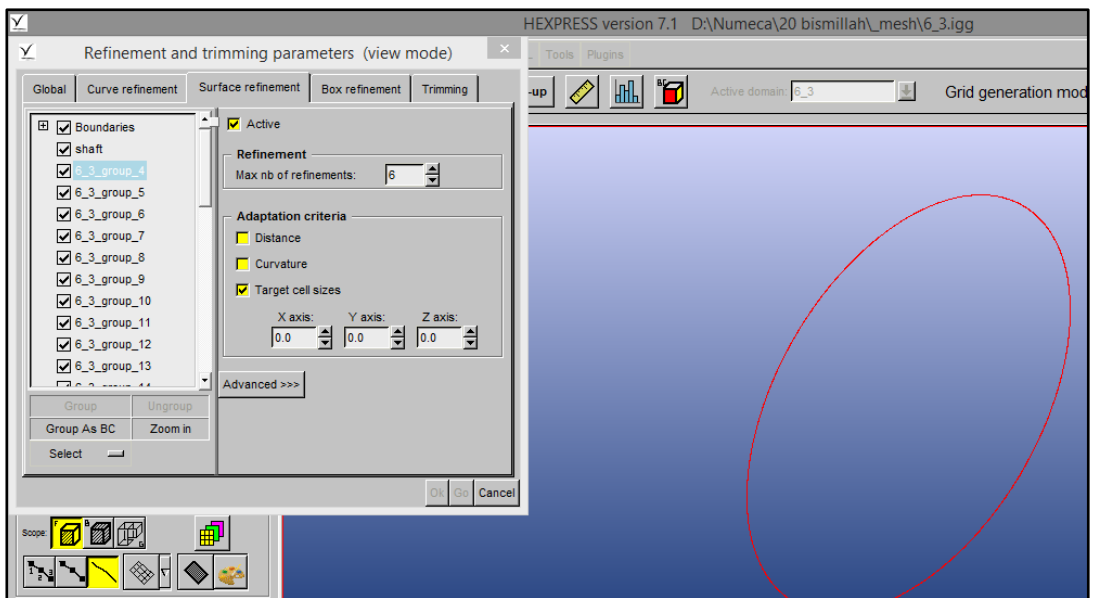
Gambar 3. 13 Initial mesh

b. Adapt to Geometry

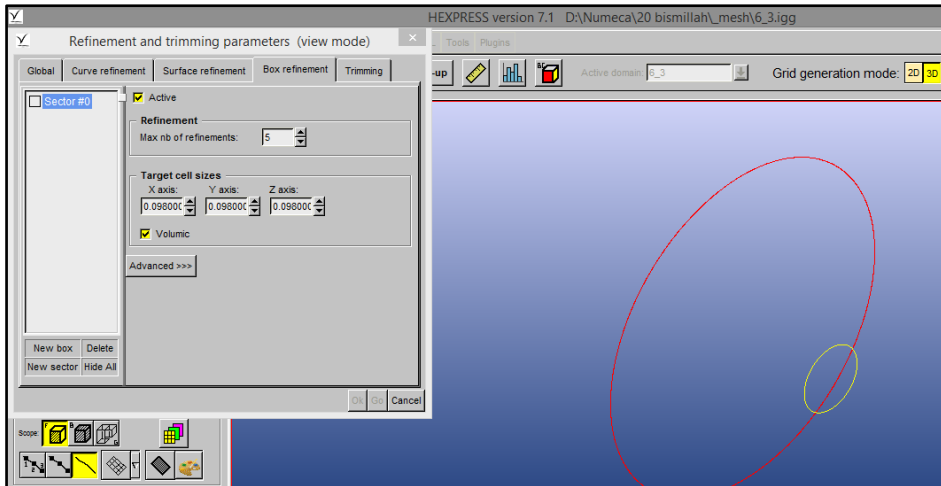
Adapt to Geometry adalah tahap untuk melakukan refinement terhadap cell-cell yang telah terbagi pada saat Initial Mesh sesuai dengan bentuk geometri. Pengaturan yang dilakukan pada tahap ini yaitu mengatur jumlah refinement seperti pada Gambar 3.14, Gambar 3.15, dan Gambar 3.16. Jumlah maksimum refinement diatur menjadi 6 pada tiap refinement. Umumnya dapat diatur antara 5 s/d 12.



Gambar 3. 14 Adapt to geometry - global



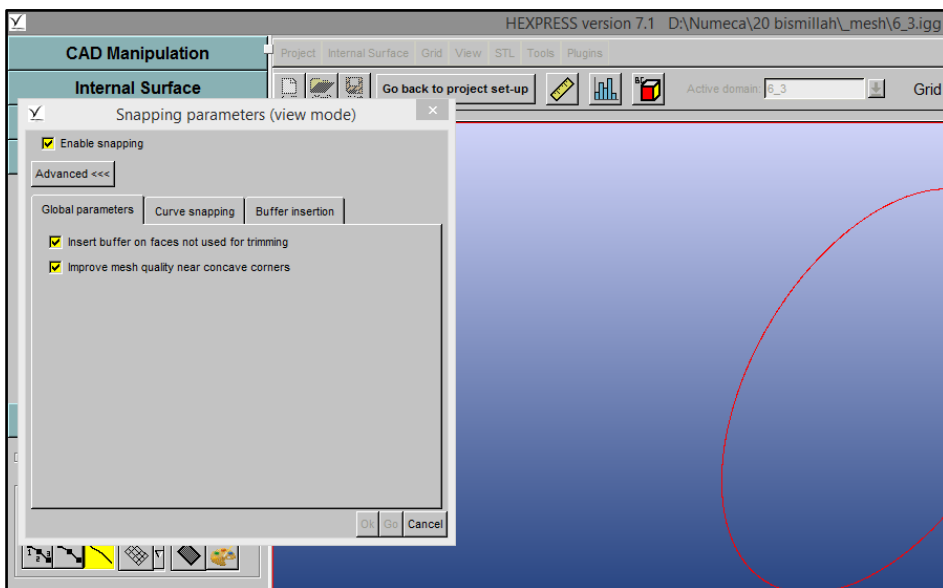
Gambar 3. 15 Adapt to geometry - surface refinement



Gambar 3. 16 Adapt to geometry - box refinement

c. Snap to Geometry

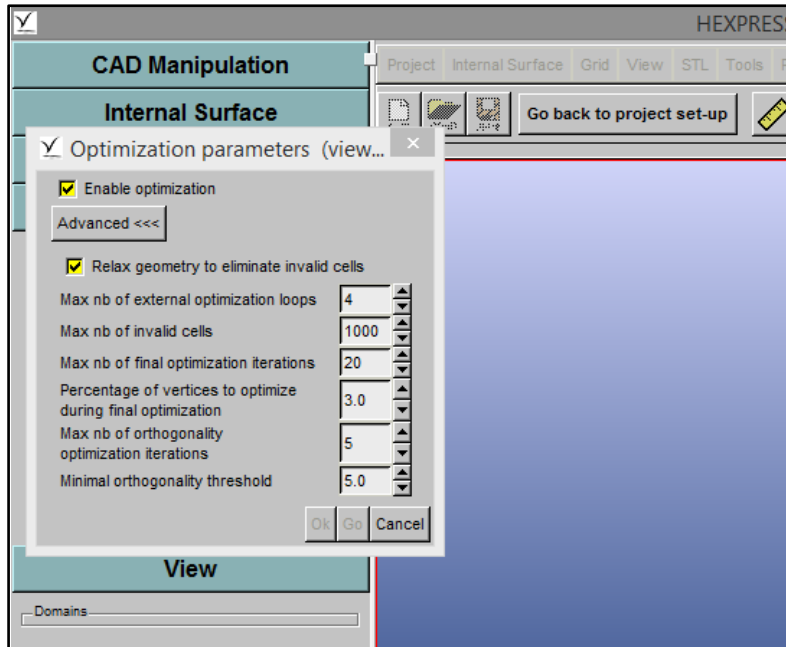
Snap to Geometry adalah tahap untuk melakukan proyeksi pada mesh yang terhadap bentuk geometri. Pada tahap ini pada bagan *global parameters* centang pilihan “*Insert buffer on faces not used for trimming*” dan “*Improve mesh quality near concave corners*” seperti pada Gambar 3.17.



Gambar 3. 17 Snap to geometry

d. Optimize

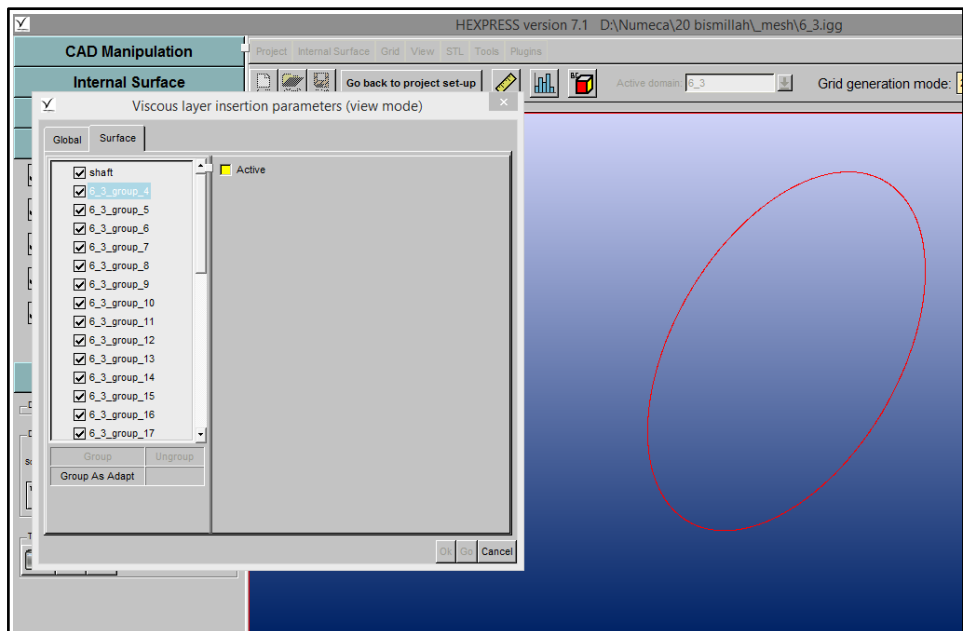
Optimize adalah tahap untuk melakukan optimisasi terhadap hasil *mesh* yang memiliki kualitas buruk. Pada awalnya terjadi kegagalan saat melakukan optimisasi dengan maksimum final optimization iteration sejumlah 7. Kemudian diatur menjadi 20 seperti pada Gambar 3.18.



Gambar 3. 18 Optimize

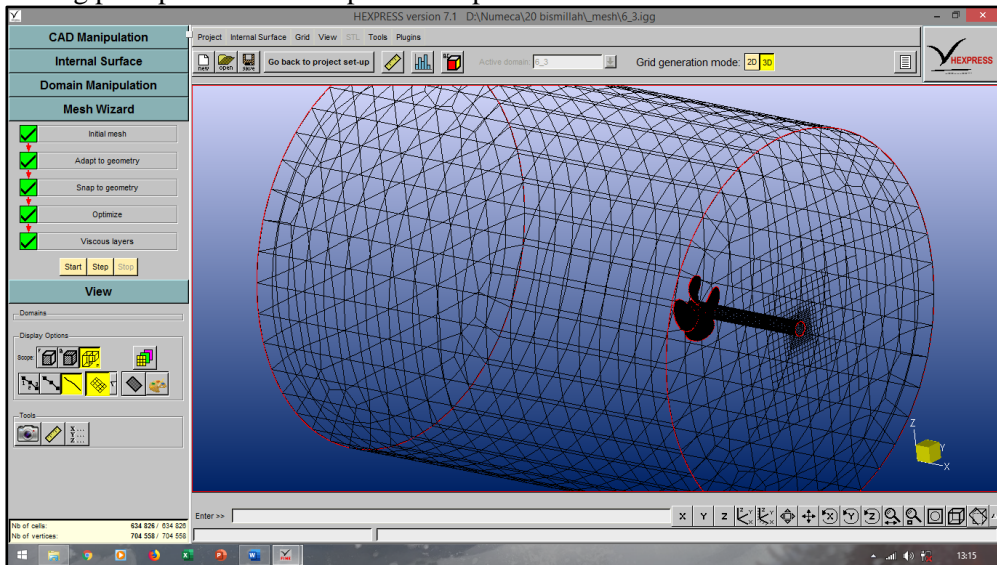
e. Viscous Layer

Viscous Layer adalah tahap untuk melakukan pendekatan yang spesifik dalam penyisipan lapisan viskos berdasarkan kecepatan. Output dari tahap ini adalah nilai bilangan *Reynold* dan nilai bilangan *Froude*.



Gambar 3. 19 Viscous layer

Ketika *viscous layer* telah berhasil dikonfigurasi, maka proses *meshing* telah selesai. Pada Gambar 3.20 diperlihatkan contoh hasil dari hasil *mesing*. Daftar input *mesing* pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.9.



Gambar 3. 20 Hasil mesh

Tabel 3. 9 Daftar input pada tahap *meshing*

Tahap	Input
Initial Mesh	X axis: 16
	Y axis: 12
	Z axis: 12
	Nb of cells: 2304
Adapt to Geometry	Global – Max number of refinements: 6
	Surface – Shaft, Max number of refinements: 4
	Surface – Surface lainnya, max number of refinements: 6
	Box – Max number of refinements: 6
Snap to Geometry	Global Parameters - Insert buffer on faces not used for trimming
	Global Parameters – Improve mesh quality near concave corners
Optimize	Relax geometry to remove invalid cells
Viscous Layer	-

Setelah *meshing* selesai, selanjutnya dilakukan validasi terhadap hasil *meshing*. Validasi dilakukan dengan membandingkan nilai torsi hasil *meshing* dengan hasil *meshing* lainnya yang memiliki jumlah *cell* yang berbeda. Pada Tabel 3.10 ditampilkan validasi yang dilakukan.

Tabel 3. 10 Validasi mesh

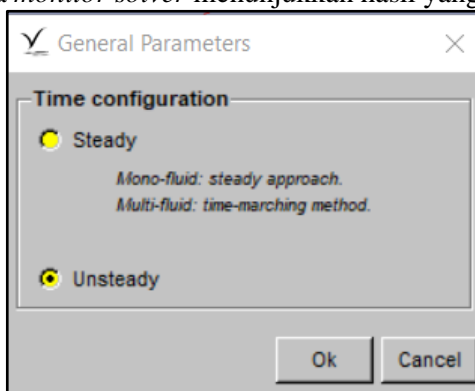
Kepadatan Mesh	Jumlah cell	Torsi (Nm)
Coarse	2739028	155,943
Medium	1465613	156,389
Fine	643826	164,166

Dari ketiga hasil meshing dipilih mesh dengan tingkat kepadatan medium, dengan jumlah cell 1465613 dan torsi 156,389 Nm. Validasi ini berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya (Astra, 2008; Mafera, 2017; Sahid, 2019).

Hasil *meshing* kemudian disimulasikan menggunakan *solver* Fine Marine. Simulasi yang dilakukan yaitu simulasi *open water*. Pada simulasi ini diatur jenis fluida yaitu air laut dengan masa jenis 1,02507 (ITTC no 19). Nilai J di variasikan dari 0,2 sampai 0,9. Jadi, dilakukan sejumlah 8 komputasi. Berikut pengaturan yang dilakukan:

a. General Parameters

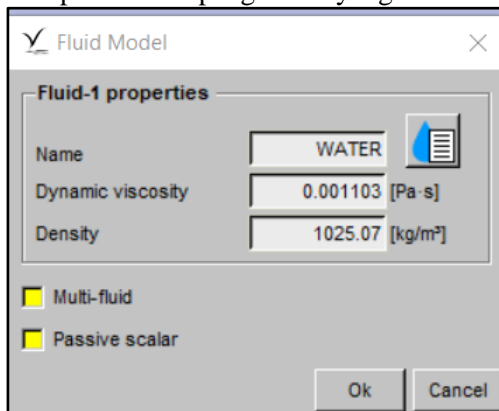
Pada *general parameter* (Gambar 3.21) diatur konfigurasi waktu *unsteady*. Opsi konfigurasi *steady* digunakan ketika mengambil hasil akhir dari simulasi. Sedangkan *unsteady* digunakan ketika mengambil hasil pada time step tertentu. Pada kasus *open water propeller*, data yang diambil yaitu ketika grafik pada *monitor solver* menunjukkan hasil yang stabil.



Gambar 3. 21 General parameter

b. Fluid Model

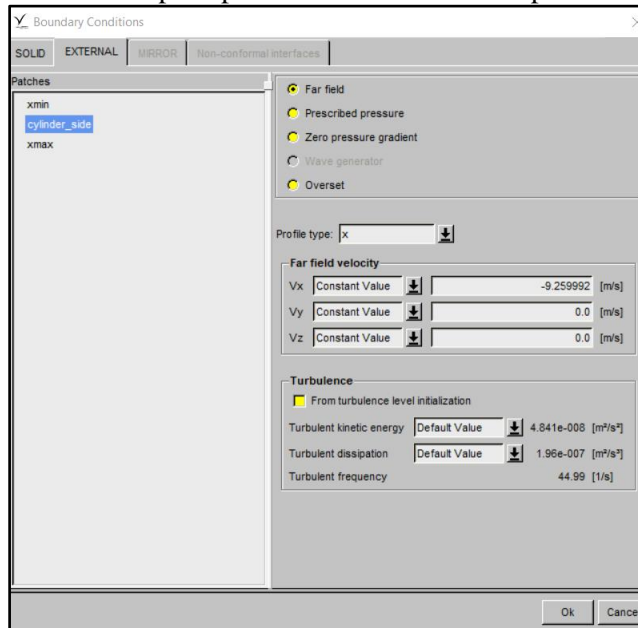
Pada bagian ini dilakukan konfigurasi terhadap fluida yang digunakan. Dipilih fluida air asin dengan temperature 19°C dan masa jenis air 1,02507. Tidak dipilih *multi-fluid* karena aliran air yang digunakan memiliki satu arah. Pada Gambar 3.22 diperlihatkan pengaturan yang dilakukan.



Gambar 3. 22 Fluid model

c. Boundary Conditions

Pada boundary conditions dilakukan konfigurasi batas ruang yang digunakan dalam simulasi seperti pada Gambar 2.33. Parameter yang diatur yaitu kecepatan aliran fluida. Fluida yang digunakan bergerak pada sumbu x dengan arah -x. Jadi, parameter yang diatur yaitu nilai  $V_x$  dengan nilai negatif. Nilai  $V_x$  pada penelitian ini berdasarkan pada Tabel 3.11.



Gambar 3. 23 Boundary conditions

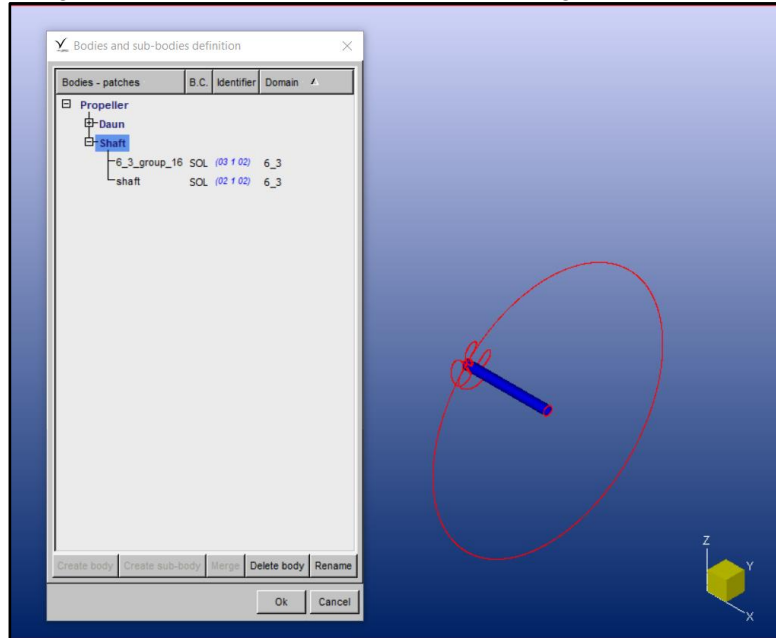
Tabel 3. 11 Konfigurasi  $V_a$

J	$V_a$ (m/s)
0,1	1,9600
0,2	3,9200
0,3	5,8800
0,4	7,8400
0,5	9,8000
0,6	11,7600
0,1	1,9600



d. Body Definition

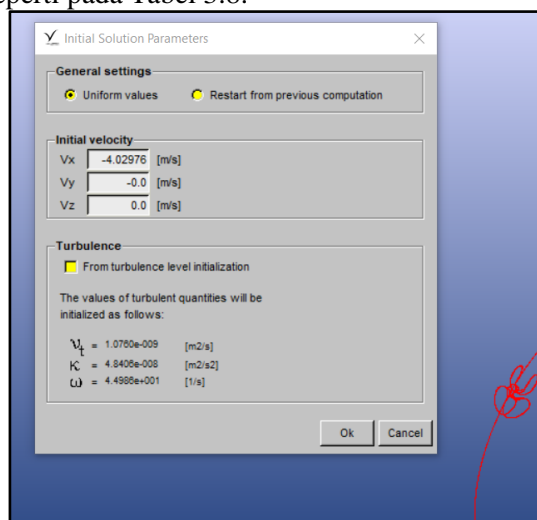
Pada *body definition* diatur pengelompokan dan penamaan dari tiap bagian dari model *propeller*. Pada simulasi ini dibagi menjadi dua *sub-group*, yaitu *shaft* dan daun seperti pada Gambar 3.24. Hasil komputasi adalah hasil pengurangan dari nilai *thrust* atau *torsi* daun dikurangi *thrust* atau *torsi* *shaft*.



Gambar 3. 24 Body definition

e. Initial Solution

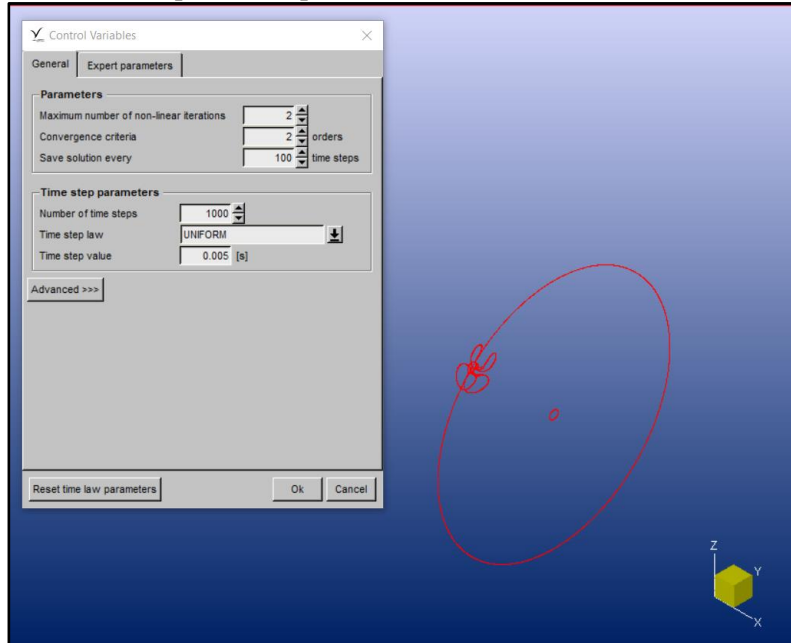
Pada Initial solution diatur kecepatan awal dari domain seperti pada Gambar 3.25. Sama seperti dengan boundary conditions, pengaturan kecepatan aliran fluida diatur seperti pada Tabel 3.8.



Gambar 3. 25 Initial solution

## f. Control Variable

Pada control variable diatur bagaimana simulasi berjalan. Pengaturan simulasi yang di control melalui konfigurasi ini yaitu parameter dan time step parameter seperti pada Gambar 3.26. Pengaturan yang digunakan pada control variable dapat dilihat pada Tabel 3.12



Gambar 3. 26 Control variable

Tabel 3. 12 Konfigurasi control variable

Parameter	Konfigurasi
Maximum number of non-linear iterations	2
Convergence criterion	2 steps
Save solution every	100 time steps
Number of time steps	1000 steps
Time step law	Uniform
Time step value	0,005 s

Dari simulasi ini dapat ditemukan karakteristik diagram *open water* dari propeller. Hasil dari tiap komputasi yaitu nilai thrust dan torsi. Dari dari hasil tersebut dapat ditemukan nilai KT, KQ, dan efisiensi, seperti yang dijelaskan pada Sub-Bab 2.3 dapat dibentuk sebuah diagram open water.

### 3.8 Simulasi Actuator Disc

Actuator Disc adalah sebuah simulasi model tanpa menggunakan sebuah model *propeller* yang nyata. Dengan menggunakan teori pemecah RANS disimulasikan hubungan antara lambung kapal dan *actuator disc*. Nilai keluar yang dihasilkan yaitu nilai *thrust* (T), torsi (Q), putaran (n), KT, KQ, J, dan kecepatan lanjutan (Va). Dengan

menggunakan perangkat lunak ini dicari nilai dari putaran *propeller* pada kecepatan 18 knot. Jadi, hanya dilakukan sekali komputasi.

Perangkat lunak yang digunakan yaitu NUMECA Fine/Marine, sama dengan simulasi open water. Bedanya, pada C-Wizzard dipilih simulasi resistance. Model yang digunakan yaitu model 3D kapal yang digunakan pada analisa tahanan menggunakan Maxurf Resistance. Pengaturan pada C-Wizzard dapat dilihat pada tabel 3.13.

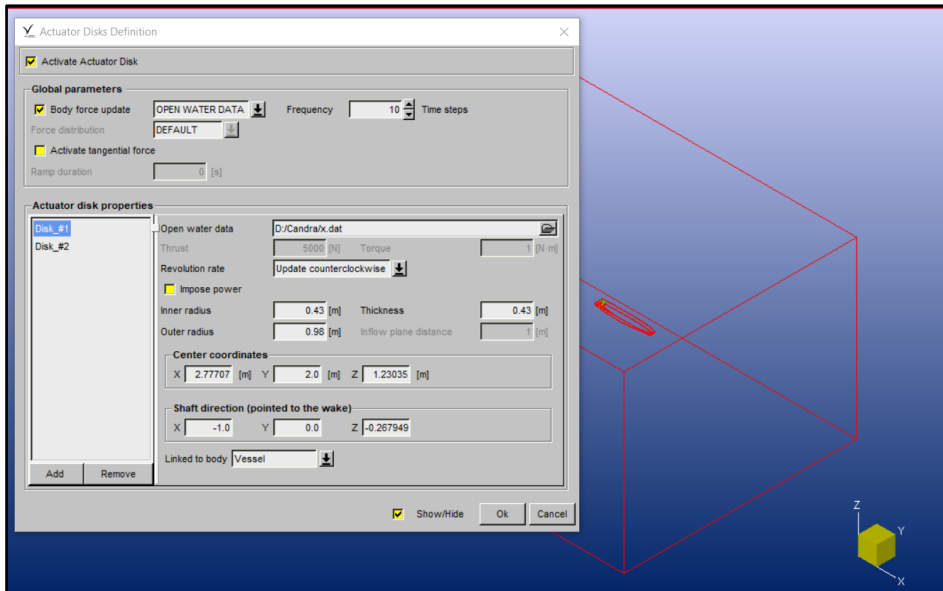
Tabel 3. 13 Konfigurasi actuator disc

Tahap	Parameter	Konfigurasi
Project Management	Application	Resistance
	Fluid Model	Multi-Fluid
	Unit - Angle	deg
	Unit - Length	m
	Unit - Speed	Knot
Body Configuration	Loaded file contains	Entire body
	Body configuration	Keep entire body (no mirror plane)
	Initial free surface condition	3.0 m
	Body motion(s) to solve	Trim Sinkage
Flow Definition	Flow speed	18 knots
	Fluid properties	Sea water 19 <sup>0</sup> C
Mesh Set-Up	Mesh Density	medium
	Merge faces with a same name	yes

Kemudian dilakukan konfigurasi untuk actuator disc. Pada konfigurasi ini diperlukan data dari uji open water. Data open water diproses menjadi file dengan format .dat. Konfigurasi actuator disc yang dilakukan ditunjukkan oleh Tabel 3.14 dan Gambar 3.11.

Tabel 3. 14 Konfigurasi additional model untuk actuator disc

Model	Parameter	Konfigurasi
Disc 1	Revolution rate	Update counter clockwise
	Inner radius	0.43
	Outer radius	0.98
	Thickness	0.43
	Center coordinates	2.77707, 2, 1.23035
	Shaft direction	-1.0, 0, -0.267949



Gambar 3. 27 Konfigurasi additional model

Pada komputasi ini, kemiringan *shaft* diatur sebesar  $10^\circ$ . Pada konfigurasi model *actuator disc* diatur -1, 0, -0, -0,176327 agar mendapatkan kemiringan  $10^\circ$ .

Dengan jumlah mesh yang digunakan yaitu sebesar 1214412 cell, konfigurasi lainnya hampir sama dengan konfigurasi pada uji *open water*. Pada *general parameters* dipilih pendekatan steady pada konfigurasi waktu. Hal ini dikarenakan pada komputasi ini diatur pada kondisi *multi-fluid*. Data yang diperoleh dari komputasi ini dapat dilihat pada tabel 3.15.

Tabel 3. 15 Hasil actuator disc

Output	Jumlah
Putaran	9,839 rps
Thrust	281,544 kN

Hasil yang didapatkan dari analisa *actuator disc* kemudian dibandingkan dengan hasil ekstrapolasi tahanan. Hal ini dilakukan sebagai validasi hasil simulasi yang dilakukan. Nilai tahanan total dari hasil ekstrapolasi yaitu 285 kN. Perbandingannya dengan hasil thrust pada simulasi *actuator disc* yaitu 1,22%.

### 3.9 Perhitungan Daya

Pada tahap ini dilakukan perhitungan prediksi daya yang dibutuhkan oleh motor penggerak utama untuk dapat optimal menggerakkan sistem transmisi dan *propeller*. Nilai T yang didapat dari proses simulasi *open water* dapat digunakan untuk mencari nilai daya. Perhitungan daya dilakukan dengan menggunakan perhitungan yang telah dijelaskan pada Sub-Bab 2.4. Nilai akhir yang dicari yaitu nilai *Shaft Horse Power* ( $P_s$  atau SHP).

Sebelum melakukan perhitungan daya, terlebih dahulu dilakukan perhitungan nilai KT dengan menggunakan persamaan (2.3). Untuk mencari nilai KT diperlukan nilai

$\beta$ , dengan melakukan perhitungan menggunakan Persamaan 3.1, 3.2, dan 3.3. Sehingga didapatkan hasil seperti pada Tabel 3.16 dan 3.17.

$$\beta = \alpha / (1-t) \cdot (1-w)^2 \cdot \rho \cdot D^2 \quad (3.1)$$

$$\alpha = S \cdot C_{TS} \cdot \rho / 2 \quad (3.2)$$

$$\begin{aligned} C_{TS} &= Rt \cdot 2 \cdot 1000 / (\rho \cdot S \cdot V_s^2) \quad (3.3) \\ &= 259,2 \times 2 \times 1000 / (1025 \times 829 \times (18)^2) \\ &= 0,007115 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha &= 829 \times 0,007115 \times 1025 / 2 \\ &= 3022,786 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta &= 3022,786 / (1 - 0,094) \times (1 - 0,085)^2 \times 1025 \times 1,96^2 \\ &= 1,012 \end{aligned}$$

Tabel 3. 16 Perhitungan  $C_{TS}$  pada tiap kecepatan

$V_s$ Knots	$V_s$ m/s	$C_{TS}$ 10*5	$R_s$ KN
15	7,717	0,006569	166,202
16	8,231	0,006837	196,795
17	8,746	0,006899	224,191
18	9,260	0,007115	259,197
19	9,774	0,007672	311,401
20	10,289	0,008649	389,023
21	10,803	0,010022	496,933

Tabel 3. 17 Hasil perhitungan  $\alpha$  dan  $\beta$

$C_{TS}$ 10*5	$R_s$ KN	$V_s$ Knots	$\alpha$	$\beta$
0,0066	166,2	15		
0,0068	196,8	16	2904,667	0,9725
0,0069	224,2	17	2931,181	0,98138
0,0071	259,2	18	3022,786	1,01205
0,0077	311,4	19	3259,389	1,09126
0,0086	389,0	20	3674,842	1,23036
0,01	496,9	21	4257,772	1,42553

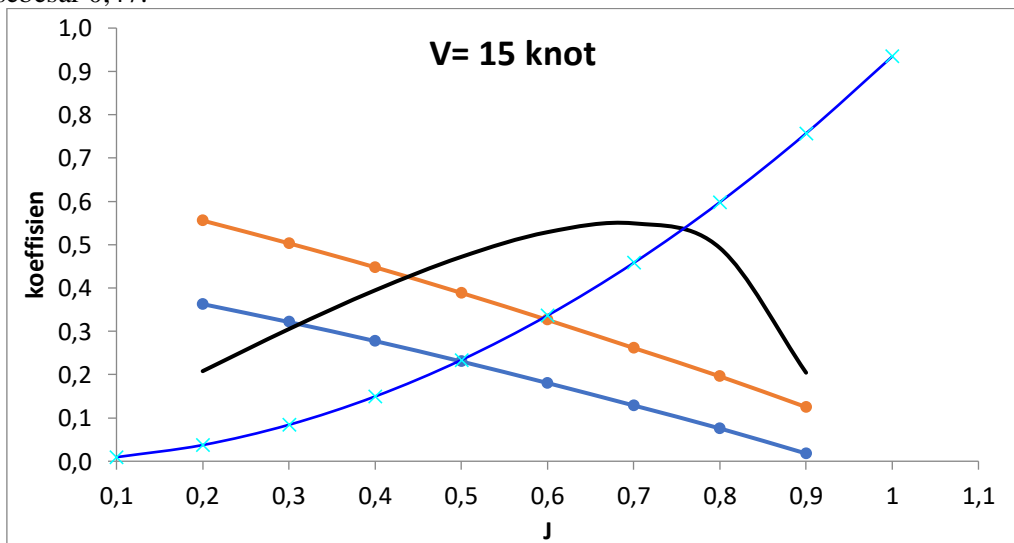
Dengan menggunakan persamaan (2.3), dapat dicari nilai KT. Nilai KT pada tiap variasi kecepatan dapat dilihat pada Tabel 3.18.

Tabel 3. 18 Nilai KT pada tiap variasi kecepatan

J	J <sup>2</sup>	15 Knot	16 Knot	17 Knot	18 Knot	19 Knot	20 Knot	21 Knot
		KT	KT	KT	KT	KT	KT	KT
0,1	0,01	0,0093	0,0097	0,0098	0,0101	0,0109	0,0123	0,0143
0,2	0,04	0,0374	0,0389	0,0393	0,0405	0,0437	0,0492	0,0570
0,3	0,09	0,0841	0,0875	0,0883	0,0911	0,0982	0,1107	0,1283
0,4	0,16	0,1495	0,1556	0,1570	0,1619	0,1746	0,1969	0,2281
0,5	0,25	0,2336	0,2431	0,2453	0,2530	0,2728	0,3076	0,3564
0,6	0,36	0,3364	0,3501	0,3533	0,3643	0,3929	0,4429	0,5132
0,7	0,49	0,4579	0,4765	0,4809	0,4959	0,5347	0,6029	0,6985
0,8	0,64	0,5981	0,6224	0,6281	0,6477	0,6984	0,7874	0,9123
0,9	0,81	0,7569	0,7877	0,7949	0,8198	0,8839	0,9966	1,1547
1	1	0,9345	0,9725	0,9814	1,0120	1,0913	1,2304	1,4255

Nilai KT yang diperoleh kemudian dimasukkan kedalam diagram open water propeller yang didapatkan dari uji open water. Irisan antara KT pada diagram dan KT yang didapatkan pada perhitungan ini akan menunjukkan nilai J, KT, KQ, dan efisiensi propeller pada tiap variasi kecepatan.

Pada Gambar 3.12 terlihat bahwa kedua garis KT bersilang pada J sebesar 0,498. Sehingga dari gambar diatas dapat ditemukan bahwa pada kecepatan 15 knot memiliki karakteristik nilai J sebesar 0,498; KT sebesar 0,229; 10KQ sebesar 0,39; dan efisiensi sebesar 0,47.



Gambar 3. 28 Diagram open water untuk menentukan J pada kecepatan 15 Knot

Dengan demikian nilai rpm dapat ditemukan pada tiap variasi kecepatan. Persamaan yang digunakan yaitu Persamaan 2.5. Performa *propeller* pada tiap variasi kecepatan dapat dilihat pada Tabel 3.19.

Tabel 3. 19 Performa propeller tiap variasi kecepatan

VS	Va	J	Nprop	KT	Thrust	KQ	Q
Knots	Knots		Rpm		KN		KNm
15	7,06	0,498	434	0,229	181,27	0,039	60,51
16	7,53	0,49	471	0,248	230,70	0,0394	71,84
17	8,00	0,488	502	0,248	262,58	0,0397	82,39
18	8,47	0,483	537	0,249	301,72	0,0401	95,24
19	8,94	0,472	580	0,249	352,03	0,0407	112,78
20	9,41	0,454	635	0,252	426,68	0,0418	138,72
21	9,89	0,43	704	0,265	551,45	0,043	175,38

Setelah itu dapat dicari nilai Delivered Horse Power ( $P_D$  atau DHP) dan Shaft Horse Power ( $P_S$  atau SHP). Perhitungan dilakukan menggunakan Persamaan 3.4 dan Persamaan 3.5.

$$P_D = 2 \cdot \pi \cdot Q \cdot n \quad (3.4)$$

dimana:

$P_D$  : Delivered power (kW)

$Q$  : Torsi (Nm)

$n$  : Putaran propeller (Hz)

sehingga,

$$\begin{aligned} P_D &= 2 \times 3,14 \times 95,24 \times (537/60) \\ &= 5352,97 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$P_S = P_D / \eta_s \quad (3.5)$$

dimana:

$\eta_s$  : Efisiensi poros, yaitu 0,95 (Carlton, 2012)

Sehingga:

$$\begin{aligned} P_S &= 5352,97 / 0,95 \\ &= 5634,7 \text{ kW} \end{aligned}$$

Maka dapat diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.20.

Tabel 3. 20 Daya pada tiap variasi kecepatan

VS	Va	J	Q	DHP	SHP
Knots	Knots		KNm	KW	95% KW
15	7,06	0,498	60,51	2748,68	2893,4
16	7,53	0,49	71,84	3537,87	3724,1
17	8,00	0,488	82,39	4328,65	4556,5
18	8,47	0,483	95,24	5352,97	5634,7
19	8,94	0,472	112,78	6847,05	7207,4
20	9,41	0,454	138,72	9216,65	9701,7
21	9,89	0,43	175,38	12918,00	13597,9

### 3.10 Perbandingan Hasil Analisa

Hasil analisa menggunakan metode numerik kemudian dibandingkan dengan hasil analisa menggunakan eksperimen yang dilakukan oleh BTH. Data yang dibandingkan berupa tabel hasil analisa dan diagram perbandingan hasil kedua analisa. Hasil analisa kemudian dirangkum menjadi sebuah infografis dalam bentuk tabel ataupun dalam bentuk gambar.

### 3.11 Perumusan Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan data-data yang didapatkan kemudian dirumuskan kesimpulan. Kesimpulan yang dirumuskan yaitu baik dari hasil perhitungan maupun dari hasil evaluasi kegiatan analisa.

Dari kesimpulan yang di dapat kemudian dapat dirumuskan saran-saran. Saran memiliki peranan yang penting terutama untuk peneliti yang melakukan penelitian serupa.



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pendahuluan

Pada Bab ini dibahas hasil dari seluruh penelitian yang dilakukan. Hasil analisa numerik yaitu nilai tahanan total, diagram *open water propeller*, dan hasil analisa daya, dibandingkan dengan hasil eksperimen yang dilakukan oleh BTH.

### 4.2 Tahanan Kapal Numerik dan Eksperimen

Pada Tabel 3.4, Tabel 3.5, Tabel 3.6, dan Gambar 3.10 ditunjukkan hasil perhitungan tahanan total dan perbandingan dari metode numerik manual (menggunakan excel) dengan metode numerik menggunakan perangkat lunak Maxurf Resistance dan MARIN. Ketiga hasil menunjukkan perbedaan grafik yang tidak jauh beda, terutama pada hasil menggunakan metode numerik.

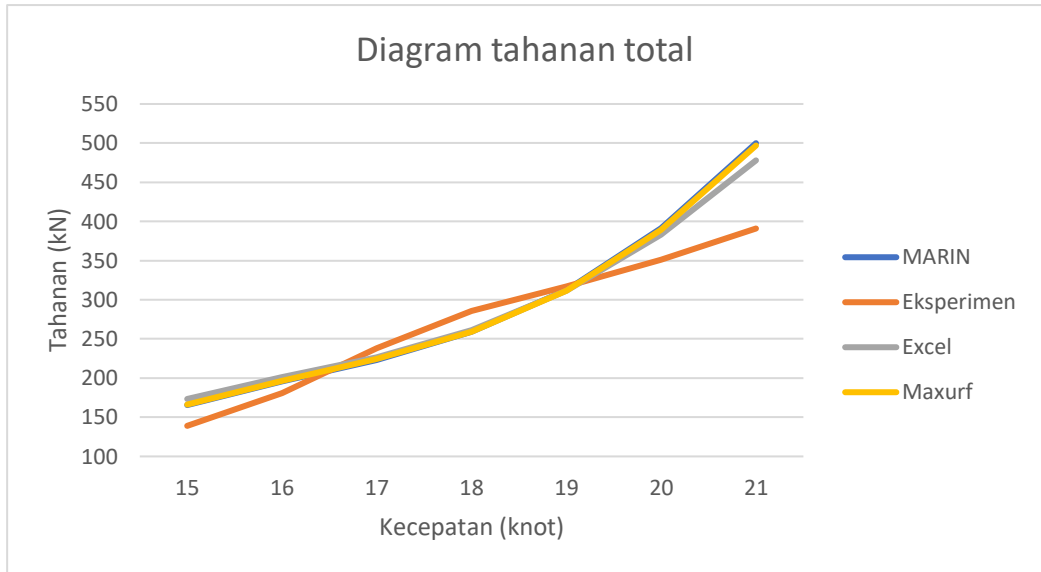
Hasil perbandingan tersebut tidak sama ketika hasil perhitungan menggunakan metode numerik dibandingkan dengan hasil eksperimen uji tarik pada *Towing Tank* yang dilakukan oleh BTH. Hasil ekstrapolasi tahanan model dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil ekstrapolasi tahanan oleh BTH

Vs (knot)	Vm (m/s)	Rm (N)	Rs (kN)
15	1,614	14,23	139
16	1,722	17,96	181
17	1,829	22,94	238
18	1,937	27,26	286
19	2,045	30,15	317
20	2,152	33,28	351
21	2,26	36,99	391

Pada Tabel 4.1 ditunjukkan nilai kecepatan dan tahanan total dari model yang digunakan pada eksperimen dan tahanan total kapal. Hasil Hasil eksperimen di atas didapatkan dengan menggunakan formula ITTC-1957. ekstrapolasi adalah valid untuk perairan bebas dengan suhu 29°C dan masa jenis air 1,025.

Hasil tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan ketiga analisa lainnya. Perbandingan dari keempat hasil dapat dilihat pada Gambar 4.1.

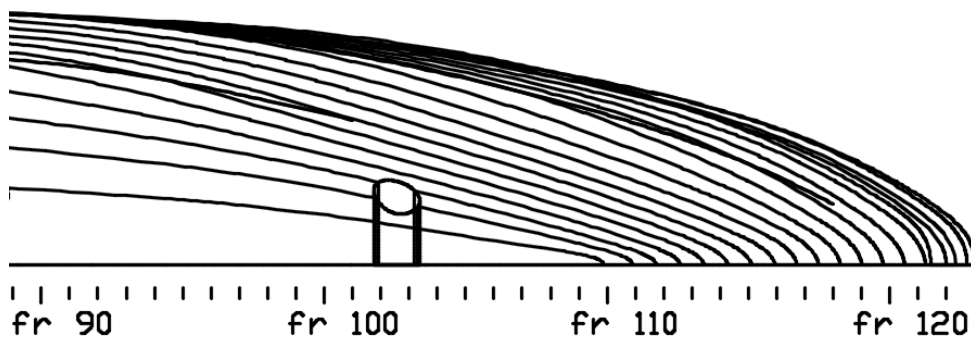


Gambar 4. 1 Diagram perbandingan hasil ketiga metode tahanan

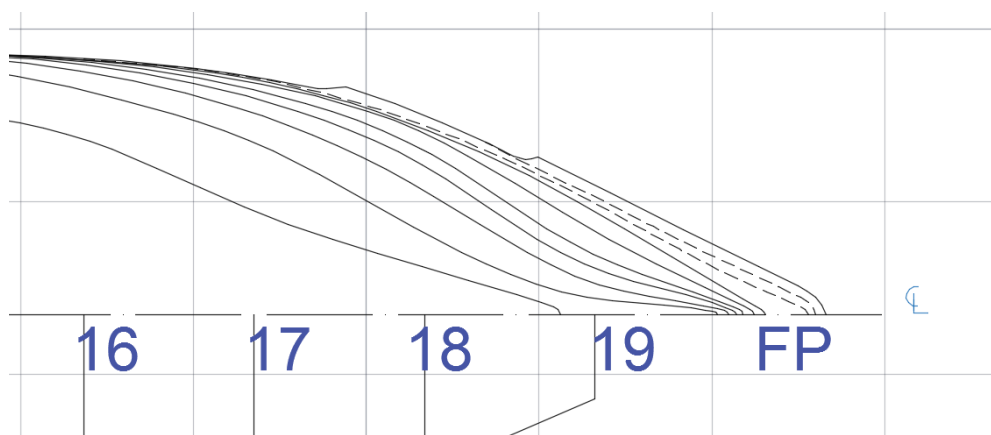
Pada Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa keempat kurva memiliki perbedaan bentuk. Yang paling menonjol adalah adanya perbedaan antara hasil perhitungan menggunakan Metode Holtrop-Mannen (manual excel, Maxurf Resistance, dan MARIN) dan hasil eksperimen. Pada hasil perhitungan numerik terlihat bahwa terus terjadi peningkatan nilai tahanan total secara eksponensial. Berbeda dengan hasil eksperimen. Pada hasil eksperimen terjadi peningkatan secara ekeponensial sampai dengan kecepatan 18 knot. Kemudian rata-rata peningkatan nilai tahanan total menurun setelah kecepatan 18 knot. Rata-rata beda kecepatan dari 15 knot hingga 21 knot adalah 11,71%.

Perbedaan hasil ini disebabkan oleh kekurangan atau batasan yang dimiliki metode numerik. Pada Tabel 3.2 disebutkan batasan-batasan data utama kapal yang mampu untuk diproses menggunakan Metode Holtrop-Mannen. Namun tidak hanya itu, bentuk lambung kapal yang dapat diproses menggunakan metode ini juga terbatas.

Pada Kapal Cepat 75 m, bentuk lambung kapal memungkinkan bagian depan kapal untuk tidak terangkat sampai dengan kecepatan 18 knot. Berbeda dengan bow dari lambung kapal niaga yang perlahan terangkat ketika kecepatan kapal semakin meningkat. Perbedaan kedua bentuk lambung bagian depan dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3. Itulah mengapa rata-rata peningkatan tahanan total pada kurva hasil eksperimen menurun setelah mencapai kecepatan 18 knot.



Gambar 4. 2 Bagian bow lambung Kapal Cepat 75 m



Gambar 4. 3 Contoh lambung bagian depan Kapal Bulk Carrier 20000 GT

Fenomena seperti yang terjadi pada hasil rekayasa lambung kapal cepat 75 m ini tidak dapat diungkap oleh perhitungan numerik maupun perhitungan matematis menggunakan Metode Holtrop-Mannen.

### 4.3 Performa Propeller

Setelah mendapat nilai thrust ( $T$ ) dan torsi ( $Q$ ) pada saat simulasi open water, maka dapat diperoleh nilai  $K_T$ ,  $K_Q$ , dan efisiensi. Perhitungan dilakukan seperti yang dijelaskan pada Sub-Bab 2.3. Hasil dari simulasi Open Water dapat dilihat pada Tabel 4.2.

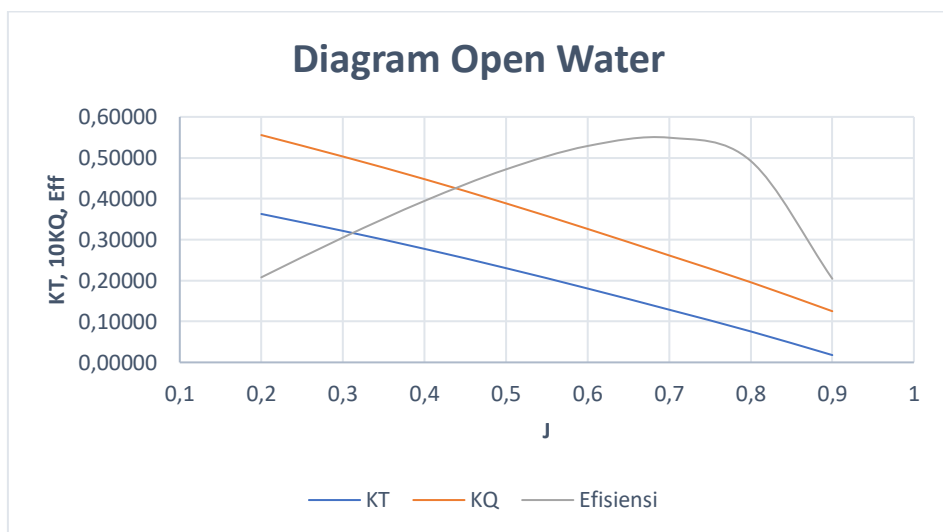
Tabel 4. 2 Hasil thrust dan torsi pada saat simulasi open water

Va(m/s)	J	T (kN)	Q
3,9200	0,2	548,737	164,712
5,8800	0,3	486,148	149,175
7,8400	0,4	419,680	132,767
9,8000	0,5	348,362	115,222
11,7600	0,6	273,150	96,716
13,7200	0,7	194,834	77,513
15,6800	0,8	114,514	58,073
17,6400	0,9	26,990	37,079

Setelah itu nilai thrust dan torsi diolah menggunakan persamaan (2.2) dan persamaan (2.4) untuk menemukan nilai  $K_T$  dan  $K_Q$ . Hasil perhitungan yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.4.

Tabel 4. 3 Performa propeller

Va (m/s)	J	$K_T$	$K_Q$	$\eta$
3,9200	0,2	0,36276	0,0556	0,207953417
5,8800	0,3	0,32138	0,0503	0,305133675
7,8400	0,4	0,27744	0,0448	0,394624959
9,8000	0,5	0,23029	0,0389	0,471804195
11,7600	0,6	0,18057	0,0326	0,528871009
13,7200	0,7	0,12880	0,0261	0,54914201
15,6800	0,8	0,07570	0,0196	0,492346367
17,6400	0,9	0,01784	0,0125	0,204462567



Gambar 4. 4 Diagram open water propeller symmetrical blade BTH

Pada Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa efisiensi tertinggi terjadi pada saat  $J$  bernilai 0,7; dengan nilai  $KT$  sebesar 0,12880;  $KQ$  sebesar 0,0261; dan efisiensi sebesar 54,9%. Seharusnya dilakukan beberapa simulasi lagi untuk menemukan kedua ujung (ketika nilai efisiensi sama dengan 0) dari garis efisiensi. Tujuannya yaitu untuk mengetahui Batasan-batasan performa dari propeller tipe *symmetrical blade* ini. Selain itu juga dilakukan simulasi dengan jarak 0,5 antar  $J$ , untuk mendapatkan hasil diagram yang lebih rinci.

#### 4.4 Perbandingan Daya

Pada Sub-Bab ini dilakukan perbandingan terhadap hasil perhitungan tahanan yang dilakukan dengan hasil eksperimen. Hasil ekeperimen ini adalah hasil uji *self-propulsion* pada *towing tank* yang dilakukan oleh BTH. Nilai daya hasil dari uji *self-propulsion* dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Tabel daya hasil eksperimen BTH

<b>Vs (knot)</b>	<b>DHP (kW)</b>	<b>SHP (kW)</b>
15	2357,98	2482,08
16	3339,51	3515,28
17	4665,89	4911,47
18	6014,21	6330,75
19	7113,15	7487,52
20	8678,22	9134,96
21	11239,50	11831,05

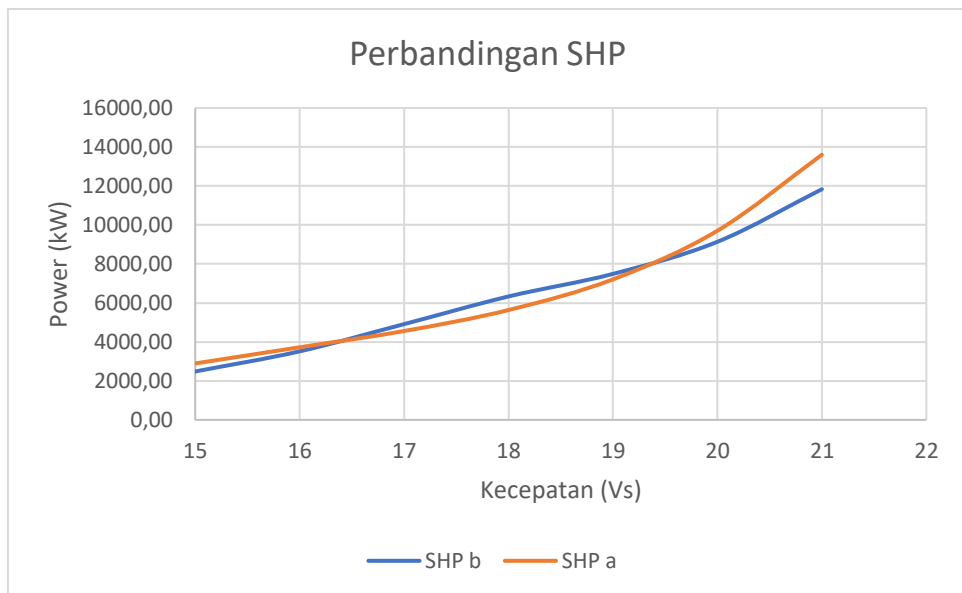
Untuk perhitungan daya digunakan dari tahanan total dari Maxsurf Resistance. Kemudian diolah bersama dengan hasil performa propeller untuk menemukan nilai daya (SHP atau  $P_s$ ). Proses pengolahan ini dilakukan pada Sub-Bab 3.9. Hasil perhitungan daya dapat dilihat pada Tabel 3.20. Perbandingan hasil perhitungan daya dengan hasil eksperimen dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.5, dengan:

SHP a : *Shaft Horse Power* perhitungan tahanan (kW)

SHP b : *Shaft Horse Power* eksperimen (kW)

Tabel 4. 5 Perbandingan nilai SHP

<b>Vs</b>	<b>SHP a</b>	<b>SHP b</b>
<b>knot</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>
15	2893,35	2482,08
16	3724,08	3515,28
17	4556,47	4911,47
18	5634,70	6330,75
19	7207,42	7487,52
20	9701,73	9134,96
21	13597,89	11831,05



Gambar 4. 5 Perbandingan SHP hasil perhitungan daya dan hasil eksperimen

Rata-rata perbandingan dari kedua metode yaitu 8,96%. Terlihat pada Gambar 4.5 bahwa sekilas diagram tersebut memiliki pola yang sama dengan pola pada diagram perbandingan tahanan total (Gambar 4.1). Hal ini dipengaruhi oleh input pada perhitungan daya yaitu nilai tahanan total.

Selain itu tabel ini mengidentifikasi bahwa performa propeller yang digunakan pada eksperimen dengan yang diteliti pada penelitian ini memiliki performa yang sama. Dapat dikatakan bahwa hasil uji open water pada penelitian ini valid.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Ringkasan Penelitian**

Penelitian ini telah berhasil mencapai tujuan yang direncanakan, yaitu mengetahui perbandingan nilai tahanan total antara perhitungan numerik dan eksperimen, mengetahui performa dari *Propeller Symmetrical Blade* milik BTH, dan mengetahui perbandingan nilai *Shaft Horse Power* (SHP) antara perhitungan numerik dan eksperimen. Penelitian ini terselesaikan sesuai dengan tahapan-tahapan pada metodologi penelitian dan hasil perhitungan telah selesai didapatkan. Setelah melakukan perhitungan, kegiatan perbandingan dilakukan dan mendapatkan hasil.

Tahanan total dianalisa menggunakan metode Holtrop-Mannen dengan dua cara yang berbeda, yaitu perhitungan numerik menggunakan Maxsurf Resistance dan perhitungan matematis menggunakan Microsoft Excel. Kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan numerik menggunakan MARIN dan hasil eksperimen. Pada perbandingan hasil tahanan total, hasil perhitungan numerik cenderung meningkat secara eksponensial. Sedangkan hasil tahanan total dari eksperimen menunjukkan peningkatan yang unik, yang tidak bisa diprediksi oleh metode numerik (Holtrop-Mannen).

Kemudian, dengan menggunakan simulasi open water menggunakan *solver* CFD, performa *propeller* ditemukan. Efisiensi tertinggi propeller yaitu pada saat  $J$  bernilai 0,5. Dengan menggunakan simulasi *Actuator Disc* ditemukan nilai putaran *propeller* dan *thrust* pada kecepatan servis.

Perhitungan daya telah dilakukan dengan menggunakan perhitungan matematis. Pada perbandingan daya, grafik yang ditunjukkan pada diagram perbandingan daya memiliki karakter yang sama dengan grafik pada perbandingan hasil perhitungan tahanan total.

#### **5.2 Kesimpulan**

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Perhitungan numerik memiliki batasan, yaitu jenis dan karakteristik kapal yang dapat dilakukan analisa. Contohnya yaitu pendekatan tahanan Van Oortmerssen cocok digunakan untuk mengetahui nilai tahanan pada kapal ikan dan kapal tunda. Pendekatan tahanan Holtrop-Mannen dan pendekatan tahanan Guldhammer-Halrvarud cocok untuk digunakan pada rancangan kapal niaga. Namun pendekatan-pendekatan tersebut bisa jadi tidak cocok untuk kapal jenis lainnya. Dapat disimpulkan bahwa pendekatan matematis dapat dilakukan tergantung dari jenis dan karakteristik kapal.
- b. Eksperimen pada towing tank juga memiliki batasan. Batasan pada kegiatan pendekatan menggunakan eksperimen yaitu fasilitas yang digunakan. Jika, pada pendekatan matematis dapat dilakukan tergantung dari jenis dan karakteristik kapal, pada eksperimen, kapal harus menyesuaikan dengan fasilitas. Ukuran model kapal menyesuaikan dengan spesifikasi dari fasilitas eksperimen.

- c. Berbeda dengan pendekatan menggunakan perhitungan numerik metode konvensional (Masurf, MARIN, dll) dan pendekatan dengan menggunakan eksperimen, analisa tahanan menggunakan pendekatan RANS tidak memiliki batasan jenis kapal ataupun batasan spesifikasi fasilitas laboratorium. Tingkat ketelitian metode ini dipengaruhi oleh konfigurasi yang dilakukan dan desain model yang dibuat oleh pengguna. Selain itu, tingkat kecepatan analisa pada metode ini bergantung pada spesifikasi perangkat keras yang digunakan untuk melakukan simulasi.

### 5.3 Saran

Adapun saran-saran yang diperoleh adalah sebagai berikut:

- a. Variasi kecepatan ditingkatkan, untuk memberikan hasil yang lebih rinci.
- b. Dalam melakukan desain tiga dimensi, terutama yang diperuntukkan untuk simulasi menggunakan *solver* CFD, hindari adanya surface yang memiliki sudut sangat lancip. Hal ini dilakukan agar model dapat dianalisa menggunakan *solver* CFD.
- c. Variasi  $J$  diperbanyak lagi saat membuat penggambaran performa *propeller* (diagram open water). Hal ini bertujuan agar bentuk diagram menjadi lebih rinci dan pembacaan menjadi lebih valid.



## DAFTAR PUSTAKA

- Adji S. W. 2005. *Engine Propeller Matching*. Surabaya 4-195: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- Adji S. W. 2006. *Pengenalan Sistem Propulsi Kapal*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- Astra M. 2008. *Optimalisasi Jarak Twin Screw Propeller KM. Borneo Meratus Dengan Pendekatan CFD*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Burke D., Michael T. 2006. *2.611 Marine Power and Propulsion*. Massachusetts Institute of Technology: MIT Open Course Ware
- Carlton J. S. 2012. *Marine Propellers and Propulsion Second Edition*. United Kingdom: Great Britain by MPG Books Ltd
- Charkaborty S. 2019. *How Sighting, Boring, and Alignment of Ship's Propeller Shaft is Done*. Diakses dari marineinsight.com, 25 Juni 2019.
- Fouling M. 1952. *Marine Fouling And It's Prevention*. Woods Hole Oceanographic Institute 580: U.S. Naval Institute, Annapolis, Maryland.
- Giffari. 2017. *Apa Itu CFD (Computational Fluid Dynamic)*. <https://nvengcom.blogspot.com/2017/04/apa-itu-cfd-computational-fluid-dynamic.html>, diakses 14 Januari 2019
- Holtrop J. 1984. *A Statistical Re-Analysis of Resistance and Propulsion Data*. International Shipbuilding Progress, 31(363):272–276.
- ITTC. 2014. *Recommended Guidelines and Procedures Open Water Test 6th Revision*. Denmark
- Kerwin J. E. 2012. *Marine Propellers*. Massachusetts 02139: Department of Ocean Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- Krcum M. 2003. *Ship Propulsion System*. Croatia 971: Maritime Faculty - Split, Zrinskofrankopanska 38, HR-21000 Split, Croatia
- Lewis E. V. 1988. *Principle of Naval Architecture Second Revision*. The Society of Naval Architects and Marine Engineers, New Jersey.

- Mafera A. D. A. J. 2017. *Analisa Pengaruh Variasi Perbandingan Panjang Selubung – Diameter Nozzle dan Tip Clearance Terhadap Kinerja Propeller K-Serie*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Marine-MAN. 2019. Two-Stroke Technology, <https://marine.man-es.com/technology/low-speed-technology>, diakses pada Juni 2019
- May G. K. 1992. *The Wangeningen Propeller Series*. Netherlands: Marine Publication
- Nalli M. 2011. *Ship hydrodynamic lecture notes part 8 propeller test*. Diakses dari <https://www.scribd.com/document/62627646/Ship-Hydrodynamics-Lecture-Notes-Part-8-Propeller-Tests>, 26 Juni 2019.
- Sahid A. 2019. *Analisa Aliran Fluida Pada Buritan Lambung KM. Kelola Mina Makmur 150 GT Berdasar Propeller and Hull Matching Dengan Menggunakan Actuator Disc Propeller*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Vulid N. 2015. *A Study Into Resonant Phenomena In The Catamaran Propulsion System*. Diakses dari [sciencegate.com](http://sciencegate.com), 25 Juni 2019
- Wartsila. 2019a. *Wärtsilä Controllable Pitch Propeller Systems*, <https://www.wartsila.com/marine/build/propulsors-and-gears/propellers/wartsila-controllable-pitch-propeller-systems>, diakses pada Juni 2019
- Wartsila. 2019b. *Wärtsilä Fixed Pitch Propeller Systems*, <https://www.wartsila.com/marine/build/propulsors-and-gears/propellers/wartsila-fixed-pitch-propeller-systems>, diakses pada Juni 2019

**LAMPIRAN**

**DATA UTAMA  
KAPAL DAN PROPELLER**

## DATA UTAMA KAPAL

Jenis : Patroli  
Lwl : 69,76 m  
Lpp : 68,56 m  
B : 11,35 m  
T : 3 m  
Vol. Disp : 1147 m<sup>3</sup>

### Rasio hull

Lwl/B : 6,041  
B/T : 3,783  
Trim : 0 degree  
IE : 20 degree

### Koefisien bentuk hull

Cb : 0,491  
Cm : 0,734  
Cwp : 0,844  
Cp : 0,669  
LCB : -1.407

### Permukaan basah hull

S : 829 m<sup>2</sup>

## DATA UTAMA PROPELLER

Tipe : Symmetrical Blade  
 Jumlah Daun : 4  
 Diameter luar : 1980 mm  
 Jari-jari luar : 980  
 Diameter dalam : 930 mm  
 Pitch : 1764 mm  
 P/D : 0,9

Tabel Offset

<b>r/R</b>	<b>Radius</b>	<b>Jarak R (5°)</b>	<b>Jarak R<sup>1/2</sup> (5°)</b>	<b>H/72</b>	<b>Picth</b>	<b>P/2phi</b>
0,2	196	17,10	8,55	24,50	1764,0	280,89
0,3	294	25,64	12,82	24,50	1764,0	280,89
0,4	392	34,19	17,10	24,50	1764,0	280,89
0,5	490	42,74	21,37	24,50	1764,0	280,89
0,6	588	51,29	25,64	24,50	1764,0	280,89
0,7	686	59,83	29,92	24,50	1764,0	280,89
0,8	784	68,38	34,19	24,50	1764,0	280,89
0,9	882	76,93	38,47	24,50	1764,0	280,89
1	980	85,48	42,74	24,50	1764,0	280,89

**TAHANAN  
KAPAL**

PERHITUNGAN MATEMATIS  
EXCEL

**Data Utama**

Lpp	68,564	m	LWL/B	6,146608
Lwl	69,764	m	B/T	3,783333
B	11,35	m	CB	0,491
H	5,5	m	CM	0,734
T	3	m	CP	0,669
Vs	18	knot	CWP	0,844
Disp	1175,675	ton	LCB	-1,407% Lpp
S	829	m <sup>2</sup>		

**HOLTROP**

			<b>Fn</b>	<	1
0,55	≤		<b>Cp</b>	≤	0,85
2,10	≤		<b>B/T</b>	≤	4,00
3,90	≤		<b>L/B</b>	≤	14,90

<b>Fn</b>	0,3536596	Bisa	<b>"Memenuhi Batasan Holtrop"</b>
<b>Cp</b>	0,669	Bisa	
<b>B/T</b>	3,783	Bisa	
<b>L/B</b>	6,147	Bisa	

**A Perhitungan Awal**

**- L Displacement**

$$\begin{aligned} L_{disp} &= (l_{pp} + l_{wl}) / 2 \\ &= 69,164 \text{ m} \end{aligned}$$

**- Volume Displacement**

$$\begin{aligned} \nabla &= \text{disp} / \rho \\ &= 1147 \text{ m}^3 \end{aligned}$$



## B Menghitung Froude Number dan Reynold Number

$$Fn = \frac{Vs}{\sqrt{gL}} \quad V_k = 0,8847 \cdot (10^{-6})$$

$$0,0000009$$

$$Rn = Vs \cdot L / V_k$$

Vs(Knot)	Vs(m/s)	Fn	Rn
15	7,71	0,2947163	607980603,6
16	8,224	0,3143641	648512643,8
17	8,738	0,3340118	689044684,1
18	9,252	0,3536596	729576724,3
19	9,766	0,3733073	770108764,6
20	10,28	0,3929551	810640804,8
21	10,794	0,4126028	851172845

## C Menghitung Tahanan Gesek

### - Length of The Run

$$LR = L \left( 1 - C_p + \frac{0,06 C_p lcb}{4 C_p - 1} \right)$$

$$= 23,068375$$

### - C14 Factor

$$c_{14} = 1 + 0,011 \cdot C_{stern}$$

$$= 0,89$$

### - Form Factor

$$1 + k_1 = 0,93 + 0,487118 c_{14} \left( \frac{B}{L} \right)^{1,06806} \left( \frac{T}{L} \right)^{0,46106} \left( \frac{L}{L_R} \right)^{0,121563} \left( \frac{L^3}{V} \right)^{0,36486} (1 - C_p)^{-0,604247}$$

$$1 + k_1 = 1,1876413$$

$$C_f = 0,075 / ((\log_{10}(Rn) - 2)^2)$$

$$R_f(1 + k_1) = 0,5 \cdot \rho \cdot Vs^2 \cdot C_f \cdot (1 + k_1) \cdot S$$

Vs(Knot)	Vs(m/s)	Cf	Rf(kN)
15	7,71	0,0016297	48,88168155
16	8,224	0,0016163	55,15974679
17	8,738	0,0016039	61,7915949
18	9,252	0,0015923	68,77477985
19	9,766	0,0015815	76,10701867
20	10,28	0,0015713	83,78617227
21	10,794	0,0015617	91,81022945

#### D Menghitung Tahanan Tambahan

$$S_{app} = C_1 C_2 C_3 C_4 \frac{1.75 x L x T}{100}$$

$$C_1 = 1,1190526$$

$$C_2 = 0,1510718$$

$$C_3 = 1$$

$$C_4 = 0,04 \text{ karena nilai } T/L > 0,04$$

$$S_{app} = 0,0247676$$

$$1+k_2 = 1,4$$

$$R_{app} = \rho \cdot (V_s^2) \cdot S_{app} \cdot (1+k_2) \cdot C_f / 2$$

Vs(Knot)	Vs(m/s)	Cf	Rapp(kN)
15	7,71	0,0016297	0,001721547
16	8,224	0,0016163	0,001942652
17	8,738	0,0016039	0,002176217
18	9,252	0,0015923	0,002422156
19	9,766	0,0015815	0,002680387
20	10,28	0,0015713	0,002950837
21	10,794	0,0015617	0,003233433

#### E Menghitung Tahanan Gelombang

$$C_7 = 0,1626914$$

$$i_E = 10$$

$$C_1 = 1,1190526$$

$$C_3 = 0$$

$$C_2 = 1$$

$$C_5 = 1$$

maka  $\lambda$  yang digunakan adalah  $1.446 CP - 0.03$

$$L/B = 6,1466079 \quad L/B$$

$$\lambda = 0,7829758$$

$$d = -0,9$$

$$C16 = 1,2901839$$

$$M1 = -2,0120663$$

$$C15 = -2,2596792$$

Vs(Knot)	Vs(m/s)	Fn	M2	Rw
15	7,71	0,2947163	-0,17226734	35,92673
16	8,224	0,3143641	-0,19803896	43,73256
17	8,738	0,3340118	-0,22229572	49,51527
18	9,252	0,3536596	-0,24489663	59,92157
19	9,766	0,3733073	-0,26580991	79,21736
20	10,28	0,3929551	-0,28507289	110,1446
21	10,794	0,4126028	-0,30276401	153,8995

#### F Menghitung Tahanan Model-Ship Corelation

$$Tf/Lwl = 0,0430021 \quad \text{maka, } C4 = 0,4$$

$$CA = 0,0005886$$

Vs(Knot)	Vs(m/s)	RA(kN)
15	7,71	14,865796
16	8,224	16,913972
17	8,738	19,094289
18	9,252	21,406746
19	9,766	23,851343
20	10,28	26,428081
21	10,794	29,136959

**G Menghitung Tahanan Total**

Vs(Knot)	Rf(kN)	Rapp(kN)	Rw(kN)	Rb(kN)	Rtr(kN)	RA(kN)
15	73,91888	0,0026033	54,32839978	0	0	22,48005608
16	83,41257	0,0029377	66,13237005	0	0	25,57730825
17	93,44125	0,0032909	74,87698723	0	0	28,87438314
18	104,0012	0,0036628	90,61339931	0	0	32,37128075
19	115,089	0,0040533	119,7924941	0	0	36,06800108
20	126,7014	0,0044623	166,5605931	0	0	39,96454413
21	138,8354	0,0048896	232,7268233	0	0	44,06090991

Vs(Knot)	Rt(kN)	Rtsm (kN)
15	150,7299	173,33943
16	175,1252	201,39396
17	197,1959	226,7753
18	226,9896	261,038
19	270,9536	311,59662
20	333,2310	383,21571
21	415,6281	477,97226

# ANALISA NUMERIK MARIN

MARIN program DESPPC 1999\_0 Performance Prediction of Displacement Ships

Date: 2019/02/15

Time: 13:53:39

Page 1

\*\*\*\*\*

\* KAPAL CEPAT 75M

\*

\*\*\*\*\*

## Main particulars

-----

LWL	69.76	[m]	TF	3.00	[m]
LPP	68.56	[m]	TA	3.00	[m]
B	11.35	[m]	Trim	0.00	[m]
VOL	1147	[m3]			

## Hull ratios based on LPP

-----

LWL/B	6.041	[-]	TRIM	0.00	[Degr]
B/T	3.783	[-]	IE	20.0	[Degr]
SLDR	6.550	[-]			

## Hull form coefficients based on LPP

-----

CB	0.491	[-]			
CM	0.734	[-]			
LCB	-1.407	[%LPP]			
CWP	0.844	[-] (based on LWL)			
CP	0.669	[-]			

## Bulbous bow and transom stern

-----

ABULB	0.0	[m2]	ATRANS	2.7	[m2]
HBULB	1.50	[m]			

## Wetted surface hull

-----

S	829	[m2]
---	-----	------

## Appendages

-----

SAPP	16.8	[m^2]
1+K2	3.00	[-]

\*\*\*\*\*

\* KAPAL CEPAT 75M

\*

\*\*\*\*\*

### Propeller design conditions

-----  
Design speed 21.00 [knots] (User Estimate!)  
Design shaft power 4847 [kW]  
Min. prop. diameter 1.960 [m]  
Max. prop. diameter 2.000 [m]  
Revolutions 600.0 [1/Min]  
Addition to AEA0 0.100 [-]

### Main propeller data

-----  
Number of props 2 [-] Diameter 1.960 [m]  
Number of blades 4 [-] AEA0 0.841 [-]  
Clearance prop. tip 0.11 [m] PDRA 0.635 [-]  
Propeller roughness 0.000030 [m]

Propeller type : B-series propeller

### Miscellaneous

-----  
Aftbody hullform (CSTERN) -10.0 [-]  
Aperture configuration (CSC) 10.0 [-]  
Water depth not provided

### General data

-----  
CA-Calculated 0.000589 [-] Bare hull formfactor 1.1849 [-]  
Addition to CA 0.000000 [-] Specific mass water 1025.0 [kg/m3]  
Hull roughness 0.000150 [m] Temperature water 28.0 [Degr C]  
Addition to wake 0.000 [-] Addition to thrust ded. 0.000 [-]

\*\*\*\*\*

\* KAPAL CEPAT 75M

\*

\*\*\*\*\*

Resistance deep water (calm water)

-----

VS	R-FRIC	R-WAV	R-BULB	R-TRANS	R-APP	R-ALL	R-TOT
[knots]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
11.00	23.1	5.6	0.0	2.5	1.4	8.2	45.0
11.50	25.1	7.6	0.0	2.5	1.5	8.9	50.3
12.00	27.2	10.1	0.0	2.3	1.7	9.7	56.0
12.50	29.3	12.9	0.0	2.2	1.8	10.6	62.2
13.00	31.6	16.6	0.0	1.9	1.9	11.4	69.3
13.50	33.9	21.7	0.0	1.7	2.1	12.3	77.9
14.00	36.2	27.8	0.0	1.3	2.2	13.2	87.5
14.50	38.7	35.1	0.0	0.9	2.4	14.2	98.4
15.00	41.2	42.5	0.0	0.5	2.5	15.2	109.5
15.50	43.9	48.6	0.0	0.2	2.7	16.2	119.6
16.00	46.5	54.1	0.0	0.0	2.8	17.3	129.3
16.50	49.3	58.5	0.0	0.0	3.0	18.4	138.3
17.00	52.1	63.2	0.0	0.0	3.2	19.5	147.7
17.50	55.0	69.1	0.0	0.0	3.3	20.7	158.4
18.00	58.0	77.0	0.0	0.0	3.5	21.9	171.2
18.50	61.1	87.8	0.0	0.0	3.7	23.1	187.0
19.00	64.2	102.0	0.0	0.0	3.9	24.4	206.4
19.50	67.4	120.6	0.0	0.0	4.1	25.7	230.3
20.00	70.7	143.7	0.0	0.0	4.3	27.0	258.7
20.50	74.0	172.6	0.0	0.0	4.5	28.4	293.3
21.00	77.5	204.4	0.0	0.0	4.7	29.8	330.6
21.50	81.0	236.0	0.0	0.0	4.9	31.2	368.1
22.00	84.5	268.0	0.0	0.0	5.1	32.7	406.0
22.50	88.2	299.9	0.0	0.0	5.4	34.2	443.9
23.00	91.9	331.7	0.0	0.0	5.6	35.7	481.9

\*\*\*\*\*

\* KAPAL CEPAT 75M

\*

\*\*\*\*\*

## Interaction deep water (calm water)

-----

VS	R-TOT	THRUST	W	T	ETA-H	ETA-R	ETA-0	ETA-D
[knots]	[kN]	[kN]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
11.00	45.0	49.7	0.085	0.094	0.991	1.008	0.498	0.498
11.50	50.3	55.4	0.085	0.094	0.991	1.008	0.500	0.499
12.00	56.0	61.8	0.085	0.094	0.991	1.008	0.501	0.501
12.50	62.2	68.6	0.085	0.094	0.990	1.008	0.503	0.502
13.00	69.3	76.4	0.085	0.094	0.990	1.008	0.505	0.504
13.50	77.9	85.9	0.085	0.094	0.990	1.008	0.507	0.506
14.00	87.5	96.6	0.085	0.094	0.990	1.008	0.510	0.509
14.50	98.4	108.6	0.085	0.094	0.990	1.008	0.512	0.511
15.00	109.5	120.8	0.085	0.094	0.990	1.008	0.513	0.512
15.50	119.6	132.0	0.085	0.094	0.990	1.008	0.514	0.513
16.00	129.3	142.7	0.085	0.094	0.990	1.008	0.515	0.514
16.50	138.3	152.6	0.085	0.094	0.990	1.008	0.515	0.514
17.00	147.7	163.0	0.084	0.094	0.990	1.008	0.515	0.514
17.50	158.4	174.7	0.084	0.094	0.990	1.008	0.515	0.514
18.00	171.2	188.8	0.084	0.094	0.990	1.008	0.516	0.515
18.50	187.0	206.3	0.084	0.094	0.990	1.008	0.517	0.516
19.00	206.4	227.7	0.084	0.094	0.990	1.008	0.517	0.516
19.50	230.3	254.1	0.084	0.094	0.990	1.008	0.519	0.518
20.00	258.7	285.5	0.084	0.094	0.990	1.008	0.518	0.517
20.50	293.3	323.5	0.084	0.094	0.990	1.008	0.510	0.508
21.00	330.6	364.8	0.084	0.094	0.990	1.008	0.498	0.497
21.50	368.1	406.1	0.084	0.094	0.990	1.008	0.484	0.483
22.00	406.0	447.9	0.084	0.094	0.990	1.008	0.470	0.469
22.50	443.9	489.7	0.084	0.094	0.990	1.008	0.456	0.455
23.00	481.9	531.6	0.084	0.094	0.990	1.008	0.442	0.441



\*\*\*\*\*  
 \* KAPAL CEPAT 75M \*  
 \*\*\*\*\*

Propulsion deep water (calm water)

VS	THRUST	ETA-D	CAVP	CAVN	N	PE	PS
[knots]	[kN]	[-]	[-]	[-]	[1/Min]	[kW]	[kW]
11.00	49.7	0.498	1.000	1.000	300.6	255	518
11.50	55.4	0.499	1.000	1.000	315.5	297	602
12.00	61.8	0.501	1.000	1.000	330.6	346	698
12.50	68.6	0.502	1.000	1.000	345.8	400	805
13.00	76.4	0.504	1.000	1.000	361.6	463	929
13.50	85.9	0.506	1.000	1.000	378.4	541	1079
14.00	96.6	0.509	1.000	1.000	395.8	630	1252
14.50	108.6	0.511	1.000	1.000	413.7	734	1452
15.00	120.8	0.512	1.000	1.000	431.4	845	1666
15.50	132.0	0.513	1.000	1.000	447.9	954	1878
16.00	142.7	0.514	1.000	1.000	463.7	1064	2094
16.50	152.6	0.514	1.000	1.000	478.7	1174	2308
17.00	163.0	0.514	1.000	1.000	493.9	1292	2539
17.50	174.7	0.514	1.000	1.000	509.7	1426	2800
18.00	188.8	0.515	1.000	1.000	526.6	1585	3110
18.50	206.3	0.516	1.000	1.000	545.0	1779	3486
19.00	227.7	0.516	1.000	1.000	565.3	2017	3947
19.50	254.1	0.518	0.998	1.000	587.3	2310	4499
19.75	269.4	0.518	0.997	1.000	599.7	2481	4830
20.00	285.5	0.517	1.000	1.003	613.7	2662	5204
20.50	323.5	0.508	1.015	1.016	648.6	3093	6149
21.00	364.8	0.497	1.037	1.033	687.6	3572	7266
21.50	406.1	0.483	1.062	1.052	727.4	4071	8514
22.00	447.9	0.469	1.090	1.072	768.8	4595	9898
22.50	489.7	0.455	1.120	1.093	810.9	5138	11410
23.00	531.6	0.441	1.151	1.115	854.2	5701	13053

\*\*\*\*\*

\* KAPAL CEPAT 75M \*

\*\*\*\*\*

Calculated pulling performance for constant power (calm water)

-----<-----PS= 4847.0 kW----->

VS	R-TOT	N	THRUST	PULL	T	CAVP	CAVN
[knots]	[kN]	[1/Min]	[kN]	[kN]	[-]	[-]	[-]
0.00	0.0	483.0	456.7	434.0	0.050	1.096	1.076
0.50	0.1	484.6	453.3	430.5	0.050	1.094	1.075
1.00	0.5	486.4	449.8	426.9	0.050	1.092	1.073
1.50	1.0	488.3	446.3	423.0	0.050	1.089	1.071
2.00	1.7	490.2	442.8	418.9	0.050	1.087	1.069
2.50	2.6	492.2	439.1	414.5	0.050	1.084	1.068
3.00	3.7	494.3	435.5	410.0	0.050	1.082	1.066
3.50	4.9	496.5	431.7	405.2	0.050	1.079	1.064
4.00	6.3	498.8	427.9	400.2	0.050	1.077	1.062
4.50	7.8	501.1	424.0	394.9	0.050	1.074	1.060
5.00	9.5	503.5	420.0	389.4	0.050	1.071	1.058
5.50	11.4	506.0	416.0	383.7	0.050	1.069	1.056
6.00	13.3	508.5	411.9	377.9	0.050	1.066	1.054
6.50	15.5	511.1	407.7	371.7	0.051	1.063	1.053
7.00	17.7	513.7	403.5	365.3	0.051	1.061	1.051
7.50	20.2	516.5	399.2	358.7	0.051	1.058	1.049
8.00	22.8	519.3	394.9	351.9	0.051	1.055	1.047
8.50	25.7	522.2	390.6	344.7	0.052	1.052	1.045
9.00	28.8	525.1	386.1	337.1	0.052	1.050	1.043
9.50	32.3	528.1	381.5	329.0	0.053	1.047	1.041
10.00	36.1	531.1	376.9	320.3	0.054	1.044	1.038
10.50	40.3	534.2	372.2	311.0	0.056	1.041	1.036
11.00	45.0	537.4	367.5	300.7	0.059	1.038	1.034
11.50	50.3	540.5	362.7	289.1	0.064	1.035	1.032
12.00	56.0	543.8	357.8	276.4	0.071	1.032	1.030

VS	R-TOT	N	THRUST	PULL	T	CAVP	CAVN
12.50	62.2	547.1	352.8	262.8	0.079	1.030	1.028
13.00	69.3	550.4	347.8	248.4	0.087	1.027	1.026
13.50	77.9	553.8	342.7	233.6	0.091	1.024	1.024
14.00	87.5	557.2	337.5	218.4	0.093	1.021	1.022
14.50	98.4	560.7	332.2	202.6	0.094	1.018	1.020
15.00	109.5	564.2	326.9	186.8	0.094	1.015	1.017
15.50	119.6	567.8	321.4	171.7	0.094	1.013	1.015
16.00	129.3	571.3	315.8	156.9	0.094	1.010	1.013
16.50	138.3	575.0	310.3	142.9	0.094	1.007	1.011
17.00	147.7	578.7	304.6	128.4	0.094	1.005	1.009
17.50	158.4	582.5	298.8	112.4	0.094	1.002	1.007
18.00	171.2	586.2	292.7	94.1	0.094	1.000	1.005
18.50	187.3	589.8	286.3	72.2	0.094	1.000	1.003
19.00	206.4	593.3	279.5	46.9	0.094	1.000	1.001

\*\*\*\*\*  
 \* KAPAL CEPAT 75M \*  
 \*\*\*\*\*

Calculated pulling performance for constant torque (calm water)

<-----PS/N= 4847.0 kW/ 599.7 RPM----->

VS	R-TOT	N	PS	THRUST	PULL	T	CAVP	CAVN
[knots]	[kN]	[1/Min]	[kW]	[kN]	[kN]	[-]	[-]	[-]
0.00	0.0	420.6	3400.0	373.2	354.6	0.050	1.042	1.037
0.50	0.1	423.3	3421.9	371.4	352.7	0.050	1.041	1.036
1.00	0.5	426.2	3445.0	369.6	350.6	0.050	1.039	1.035
1.50	1.0	429.3	3469.4	367.8	348.4	0.050	1.038	1.034
2.00	1.7	432.5	3495.0	366.0	345.9	0.050	1.037	1.034
2.50	2.6	435.8	3521.9	364.1	343.3	0.050	1.036	1.033
3.00	3.7	439.2	3550.0	362.3	340.5	0.050	1.035	1.032
3.50	4.9	442.8	3579.1	360.5	337.5	0.050	1.034	1.031
4.00	6.3	446.5	3609.0	358.6	334.4	0.050	1.033	1.030
4.50	7.8	450.3	3639.6	356.7	331.0	0.050	1.032	1.030
5.00	9.5	454.2	3671.0	354.8	327.5	0.050	1.031	1.029
5.50	11.4	458.2	3703.1	352.8	323.7	0.050	1.030	1.028
6.00	13.3	462.3	3736.0	350.8	319.8	0.050	1.028	1.027
6.50	15.5	466.5	3770.1	348.8	315.7	0.051	1.027	1.026
7.00	17.7	470.8	3805.0	346.7	311.4	0.051	1.026	1.025
7.50	20.2	475.2	3840.7	344.6	306.9	0.051	1.025	1.025
8.00	22.8	479.7	3877.0	342.5	302.1	0.051	1.024	1.024
8.50	25.7	484.2	3913.8	340.2	296.9	0.052	1.023	1.023
9.00	28.8	488.9	3951.0	338.0	291.3	0.053	1.021	1.022
9.50	32.3	493.5	3988.8	335.6	285.3	0.054	1.020	1.021
10.00	36.1	498.3	4027.0	333.2	278.5	0.056	1.019	1.020
10.50	40.3	503.1	4065.8	330.8	270.9	0.059	1.017	1.019
11.00	45.0	508.0	4105.0	328.3	262.2	0.064	1.016	1.018
11.50	50.3	512.9	4144.8	325.7	252.2	0.071	1.015	1.017
12.00	56.0	517.9	4185.0	323.0	241.5	0.079	1.013	1.016

VS	R-TOT	N	PS	THRUST	PULL	T	CAVP	CAVN
[knots]	[kN]	[1/Mi	n] [kW]	[kN]	[kN]	[-]	[-]	[-]
12.50	62.2	522.9	4225.8	320.3	230.5	0.086	1.012	1.015
13.00	69.3	527.9	4267.0	317.5	219.1	0.092	1.011	1.014
13.50	77.9	533.1	4308.4	314.6	207.3	0.093	1.009	1.013
14.00	87.5	538.2	4350.0	311.6	194.9	0.094	1.008	1.012
14.50	98.4	543.4	4391.9	308.6	181.3	0.094	1.007	1.011
15.00	109.5	548.6	4434.0	305.5	167.4	0.094	1.005	1.010
15.50	119.6	553.9	4475.9	302.2	154.3	0.094	1.004	1.008
16.00	129.3	559.1	4518.0	298.8	141.5	0.094	1.003	1.007
16.50	138.3	564.5	4561.1	295.5	129.5	0.094	1.001	1.006
17.00	147.7	569.8	4604.0	291.9	116.9	0.094	1.000	1.005
17.50	158.4	574.9	4645.4	287.9	102.6	0.094	1.000	1.004
18.00	171.2	580.0	4687.0	283.7	86.0	0.094	1.000	1.003
18.50	187.3	585.3	4730.0	279.6	66.1	0.094	1.000	1.001
19.00	206.4	590.7	4774.0	275.4	43.2	0.094	1.000	1.000

## ANALISA NUMERIK MAXURF

<b>Vs (knot)</b>	<b>FN Lwl</b>	<b>FN Vol</b>	<b>R (kN)</b>	<b>R (kW)</b>
15	0,295	0,766	109,2	842,909
15,25	0,3	0,779	114,7	899,552
15,5	0,305	0,792	119,8	955,376
15,75	0,31	0,805	124,7	1010,211
16	0,315	0,817	129,3	1064,305
16,25	0,32	0,83	133,8	1118,257
16,5	0,325	0,843	138,2	1172,931
16,75	0,329	0,856	142,7	1229,35
17	0,334	0,868	147,3	1288,62
17,25	0,339	0,881	152,3	1351,875
17,5	0,344	0,894	157,8	1420,245
17,75	0,349	0,907	163,7	1494,848
18	0,354	0,92	170,3	1576,793
18,25	0,359	0,932	177,6	1667,185
18,5	0,364	0,945	185,7	1767,134
18,75	0,369	0,958	194,7	1877,755
19	0,374	0,971	204,6	2000,169
19,25	0,379	0,983	215,6	2135,488
19,5	0,384	0,996	227,8	2284,804
19,75	0,388	1,009	241,1	2449,16
20	0,393	1,022	255,6	2629,528
20,25	0,398	1,034	271,3	2826,775
20,5	0,403	1,047	289,3	3050,594
20,75	0,408	1,06	307,9	3286,589
21	0,413	1,073	326,5	3527,71
21,25	0,418	1,086	345,2	3773,968
21,5	0,423	1,098	363,9	4025,375
21,75	0,428	1,111	382,7	4281,942
22	0,433	1,124	401,5	4543,681
22,25	0,438	1,137	420,3	4810,604
22,5	0,443	1,149	439,1	5082,722

22,75	0,447	1,162	458	5360,047
23	0,452	1,175	476,9	5642,589
23,25	0,457	1,188	495,8	5930,362
23,5	0,462	1,2	514,8	6223,376
23,75	0,467	1,213	533,8	6521,643
24	0,472	1,226	552,8	6825,174
24,25	0,477	1,239	571,8	7133,982
24,5	0,482	1,252	590,9	7448,076
24,75	0,487	1,264	610,1	7767,47
25	0,492	1,277	629,2	8092,174

## HASIL EKSTRAPOLASI EKSPERIMEN OLEH BTH

VM	RM
1.402	1.146
1.509	1.199
1.616	1.488
1.725	1.805
1.831	2.384
1.938	2.786
2.050	3.068
2.157	3.427
2.260	3.750
2.370	4.237

VS	VM	RM	FN	RN	RFM	RM/RFM	CTM	CFM	FN/CFM
KNOTS	M/S	N			N				
13.03	1.402	11.24	.256	.502E+07	5.29	2.123	.00720	.00339	1.270
14.02	1.509	11.76	.276	.540E+07	6.05	1.943	.00651	.00335	1.728
15.02	1.616	14.59	.295	.579E+07	6.85	2.129	.00704	.00331	2.301
16.03	1.725	17.70	.315	.618E+07	7.72	2.294	.00750	.00327	3.024
17.02	1.831	23.38	.335	.656E+07	8.60	2.718	.00879	.00323	3.880
18.01	1.938	27.32	.354	.694E+07	9.54	2.864	.00917	.00320	4.920
19.05	2.050	30.09	.375	.734E+07	10.57	2.848	.00902	.00317	6.222
20.04	2.157	33.61	.394	.772E+07	11.59	2.899	.00910	.00314	7.695
21.00	2.260	36.77	.413	.809E+07	12.62	2.914	.00907	.00311	9.351
22.02	2.370	41.55	.433	.849E+07	13.76	3.019	.00932	.00309	11.404

**NOTES:**

FOR EXPLANATION OF ABBREVIATIONS SEE LIST OF SYMBOLS  
FORM FACTOR FAIRING

TEMPERATURE TANK WATER 27.2 DEGREES C. 1+K = 2.031 AT SPEED  
EXP.= 1.0

REYNOLDS AND FROUDE NUMBER BASED ON LWL= 3.052 M (SHIP L=  
69.76 M) .

FRICTIONAL RESISTANCE RF DETERMINED ACCORDING TO THE  
ITTC-1957 FORMULA FOR A WETTED AREA OF S= 1.587 M2 (SHIP  
VALUE= 829.1 M2)



VS	VM	RM	CTM	CFM	CRES	CFS	CTS	FD
KNOTS	M/S	N	5	5	5	5	5	N
			<b>*10</b>	<b>*10</b>	<b>*10</b>	<b>*10</b>	<b>*10</b>	
13.0	1.399	11.20	721	340	323	166	576	2.25
14.0	1.507	12.22	678	335	286	164	537	2.55
15.0	1.614	14.23	688	331	300	163	550	2.86
16.0	1.722	17.96	763	327	380	161	628	3.18
17.0	1.829	22.94	864	323	485	160	731	3.52
18.0	1.937	27.26	915	320	540	159	785	3.87
19.0	2.045	30.15	909	317	537	158	781	4.24
20.0	2.152	33.28	905	314	537	157	780	4.61
21.0	2.260	36.99	913	311	548	156	789	5.00
22.0	2.367	41.43	932	309	570	155	810	5.40

VS	RS	PE	CE	V/D1/6	CE
KNOTS	KN	KW			FROUDE
13.0	109	732	246	4.00	237
14.0	118	852	264	4.31	254
15.0	139	1074	258	4.62	249
16.0	181	1488	226	4.92	220
17.0	238	2079	194	5.23	190
18.0	286	2650	180	5.54	177
19.0	317	3099	181	5.85	178
20.0	351	3609	182	6.16	179
21.0	391	4229	179	6.46	177
22.0	441	4990	175	6.77	173

NOTES:

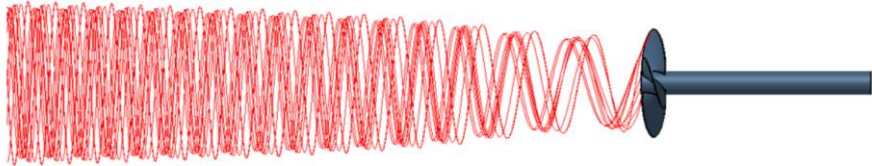
- FOR EXPLANATION OF ABBREVIATIONS SEE LIST OF SYMBOLS
- THE RESULTS ABOVE WERE OBTAINED BY MEANS OF THE ITTC-1957 FORMULA, WITH A FORM FACTOR OF  $1+K= 1.172$  AND A MODEL-SHIP CORRELATION ALLOWANCE OF  $CA= .00059$  FOR A WETTED AREA OF  $S= 1.587 M^2$  (SHIP VALUE=  $829.1 M^2$ ) AND A LENGTH ON THE WATERLINE OF  $LWL= 3.052 M$  (SHIP  $L= 69.76 M$ ) FOR A TANK WATER TEMPERATURE OF 27.2 DEGREES C.
- $CE=0.7477*DISV *VS /PE$  IN UNITS AS ABOVE AND  $DISV=1147.3 M^3$
- EXTRAPOLATED RESULTS ARE VALID FOR UNRESTRICTED DEEP WATER OF 29.0 DEGREES C. AND A MASS DENSITY OF 1025.0 KG/M<sup>3</sup>

**OPEN WATER  
TEST**

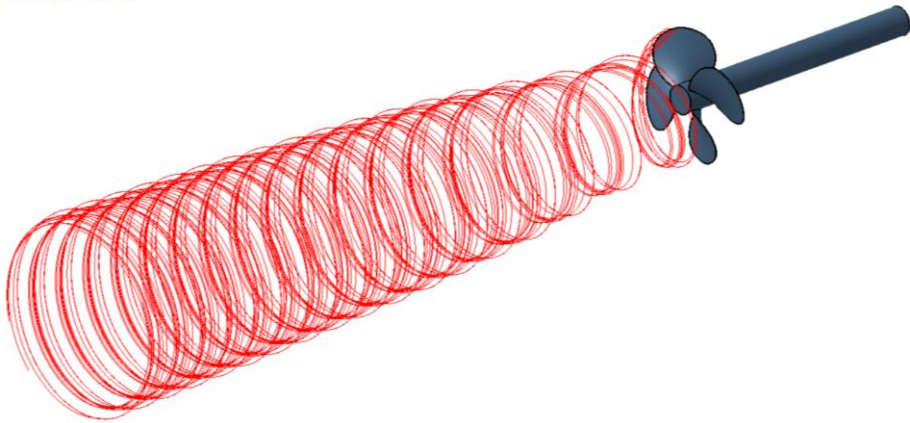
**J = 0.2**

Relative Velocity

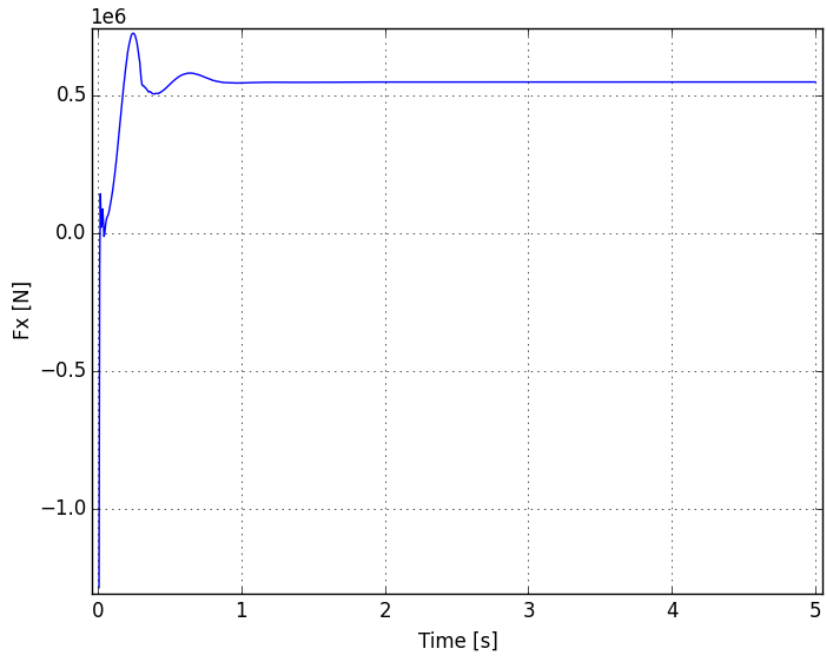
*NUMECA*



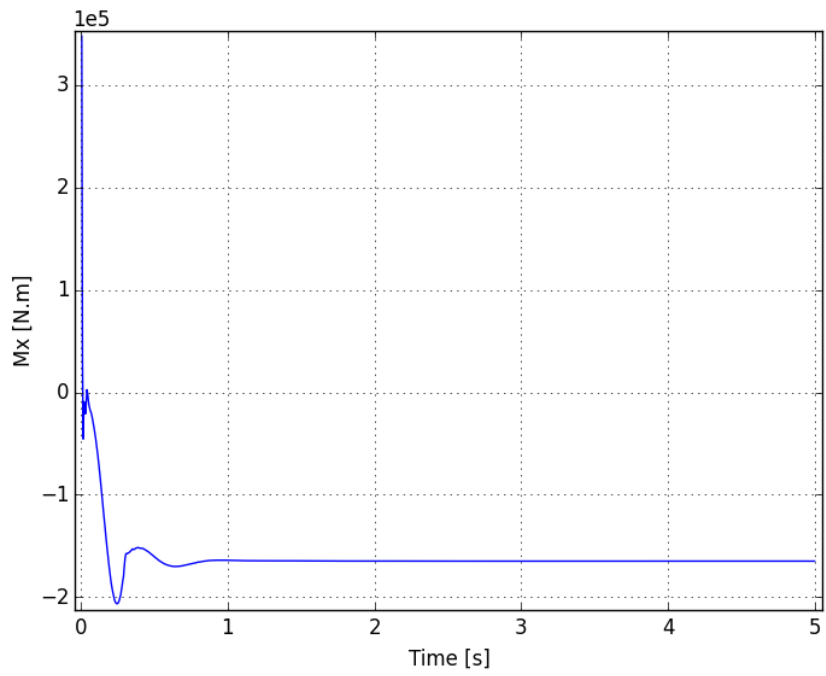
*NUMECA*



Thrust (T atau Fx)  
Fx(Propeller) vs. Time, J02



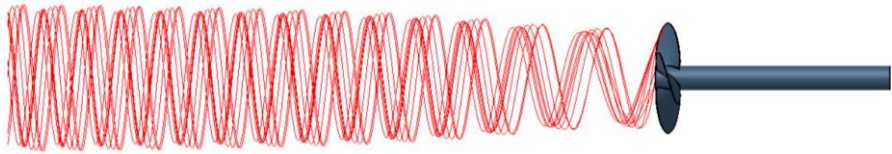
Momen (Q atau Mx)  
Mx(Propeller) vs. Time, J02



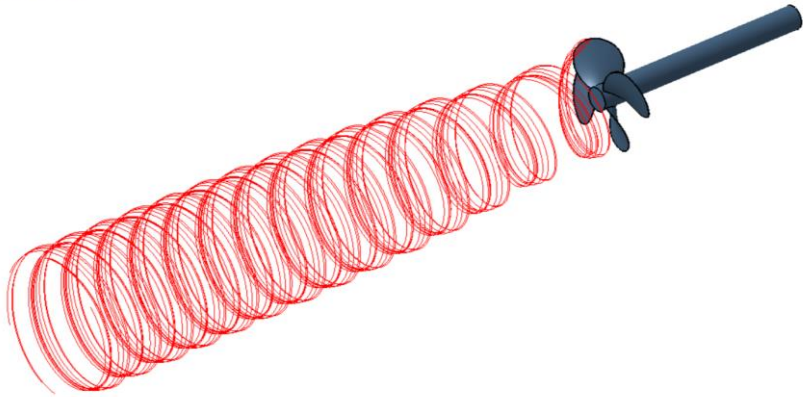
**J = 0,3**

Relative Velocity

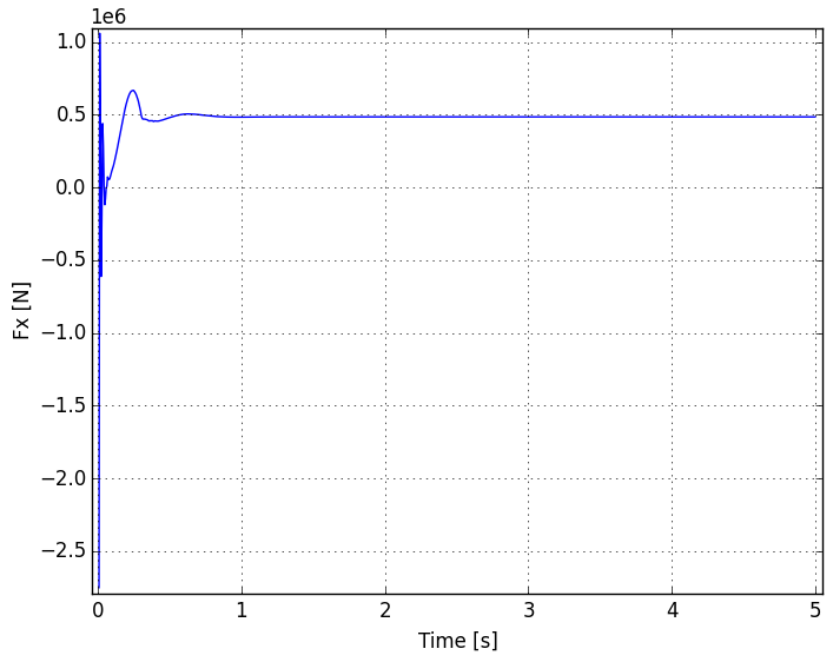
*NUMECA*



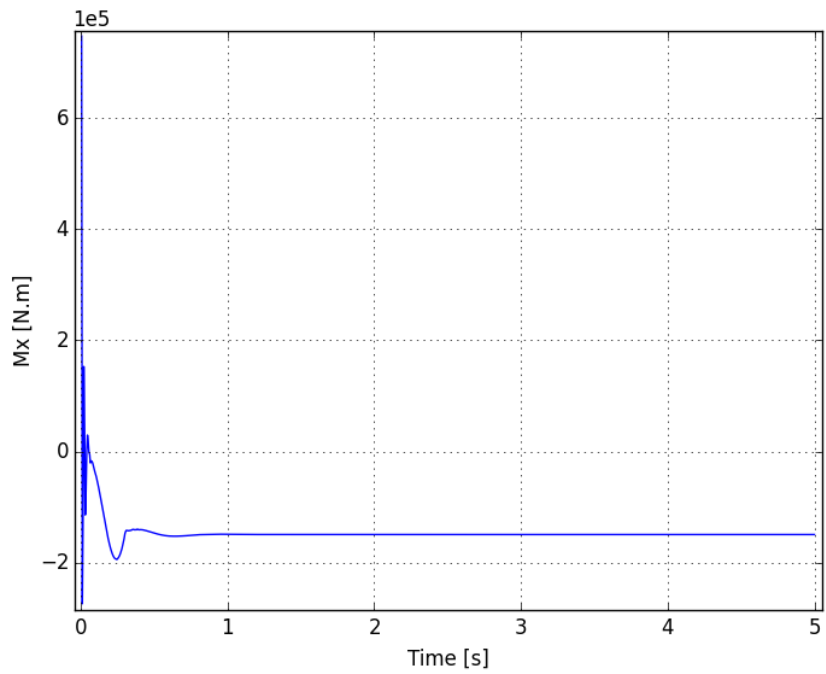
*NUMECA*



Thrust (T atau Fx)  
Fx(Propeller) vs. Time, J03



Momen (Q atau Mx)  
Mx(Propeller) vs. Time, J03



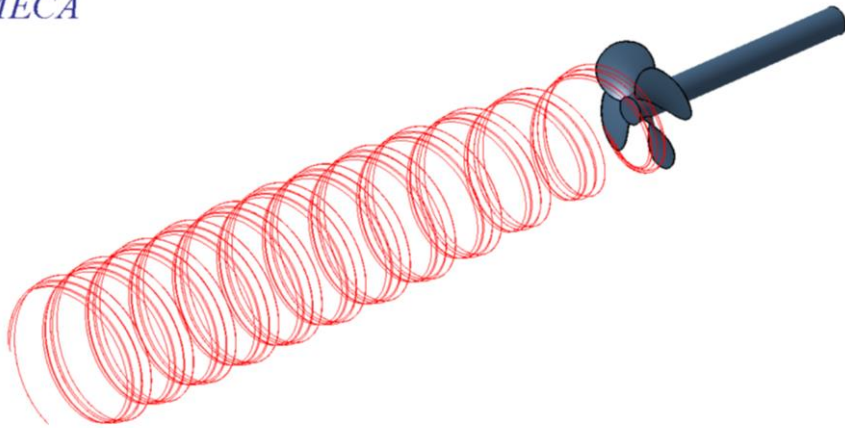
**J = 0,4**

Relative Velocity

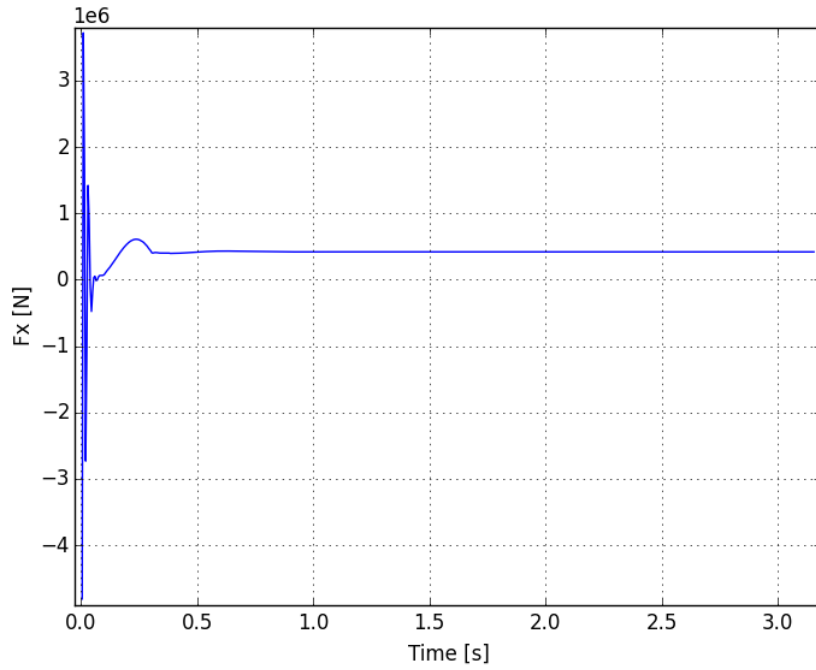
*NUMECA*



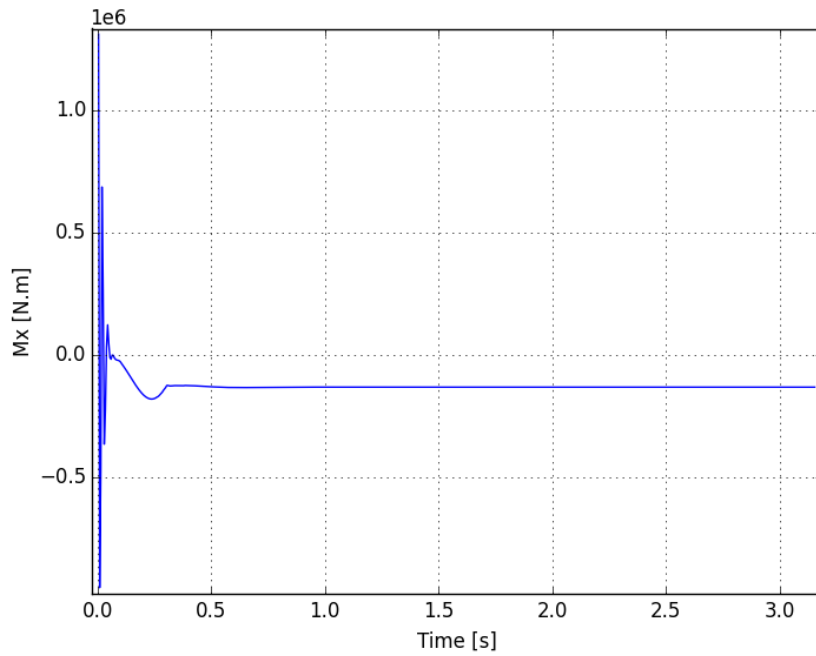
*NUMECA*



Thrust (T atau Fx)  
Fx(Propeller) vs. Time, J04



Momen (Q atau Mx)  
Mx(Propeller) vs. Time, J04

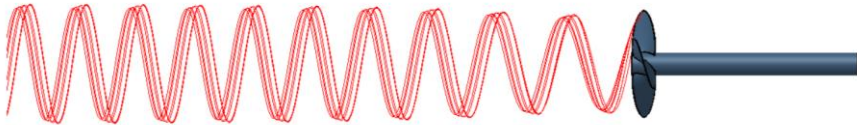




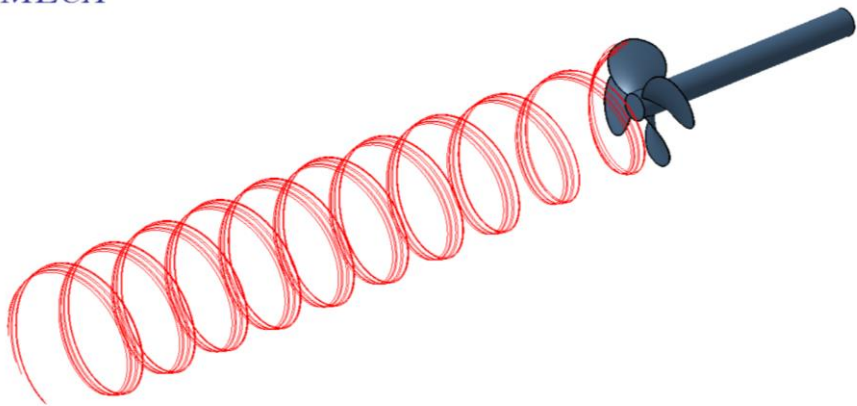
**J = 0,5**

Relative Velocity

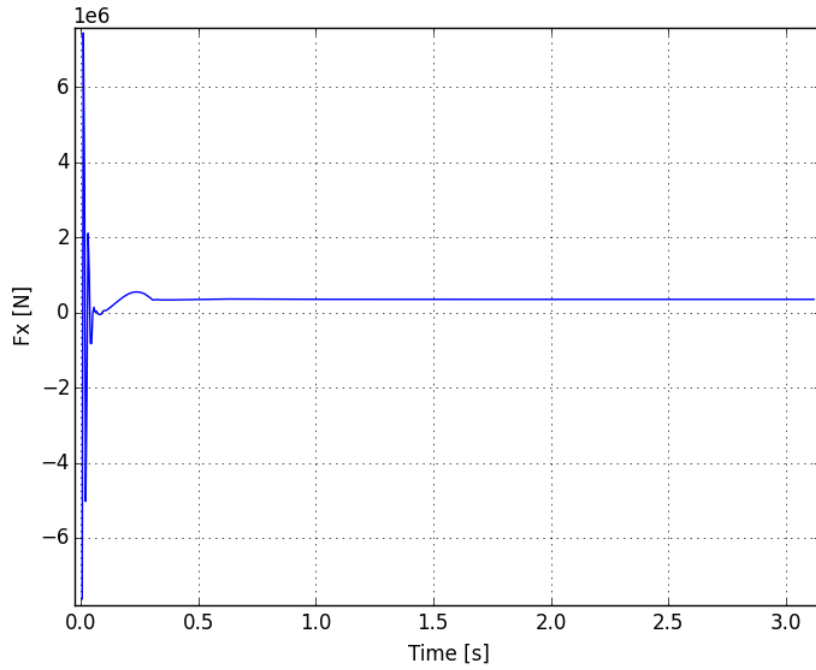
*NUMECA*



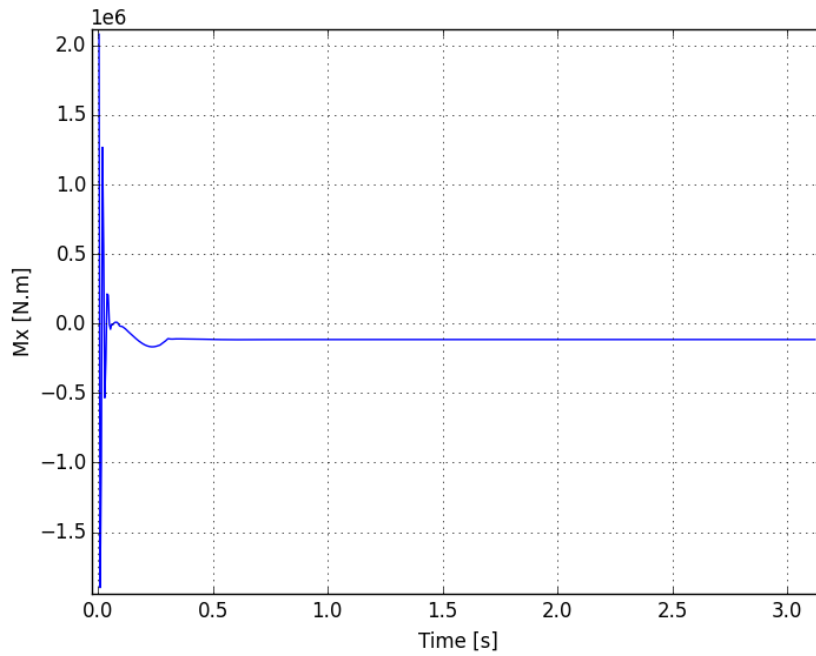
*NUMECA*



Thrust (T atau Fx)  
Fx(Propeller) vs. Time, J05



Momen (Q atau Mx)  
Mx(Propeller) vs. Time, J05



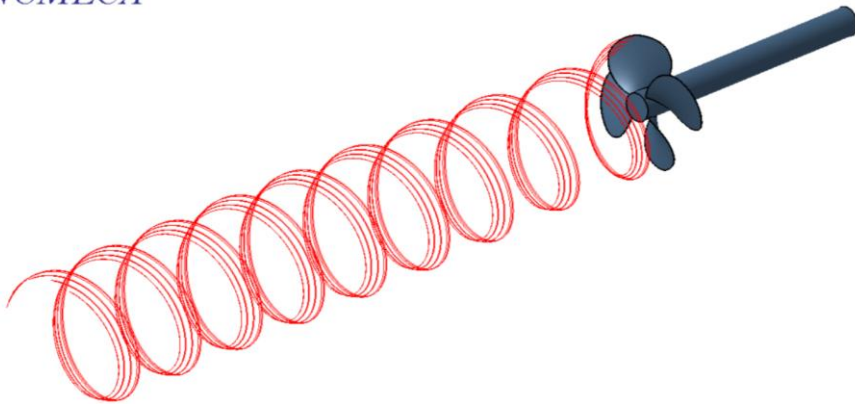
**J = 0,6**

Relative Velocity

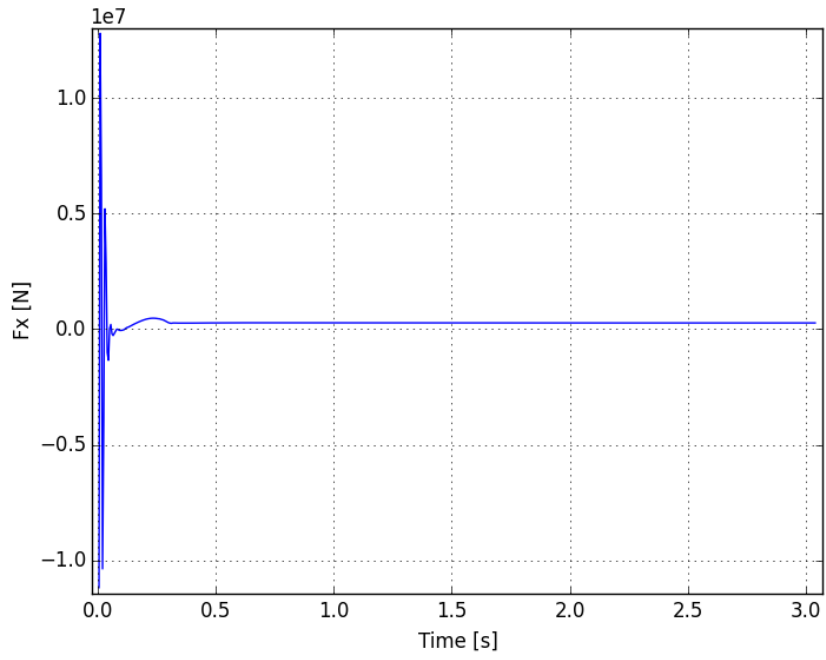
*NUMECA*



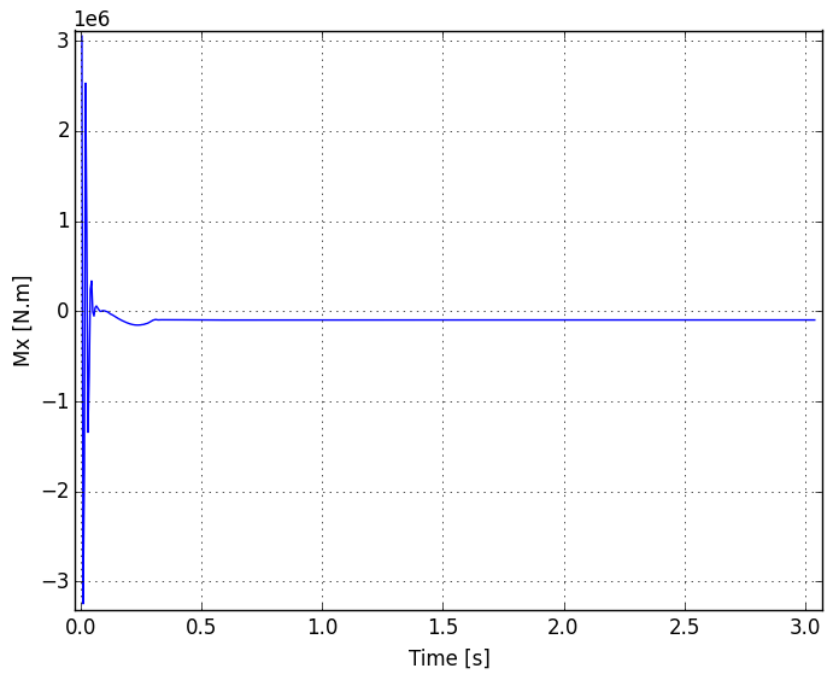
*NUMECA*



Thrust (T atau Fx)  
Fx(Propeller) vs. Time, J06



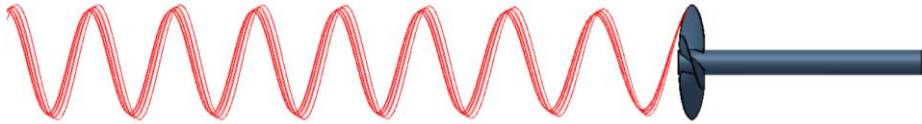
Momen (Q atau Mx)  
Mx(Propeller) vs. Time, J06



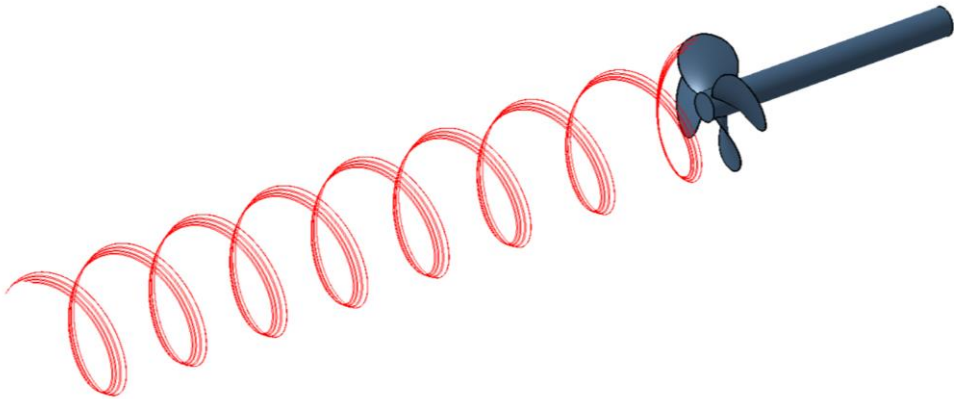
**J = 0,7**

Relative Velocity

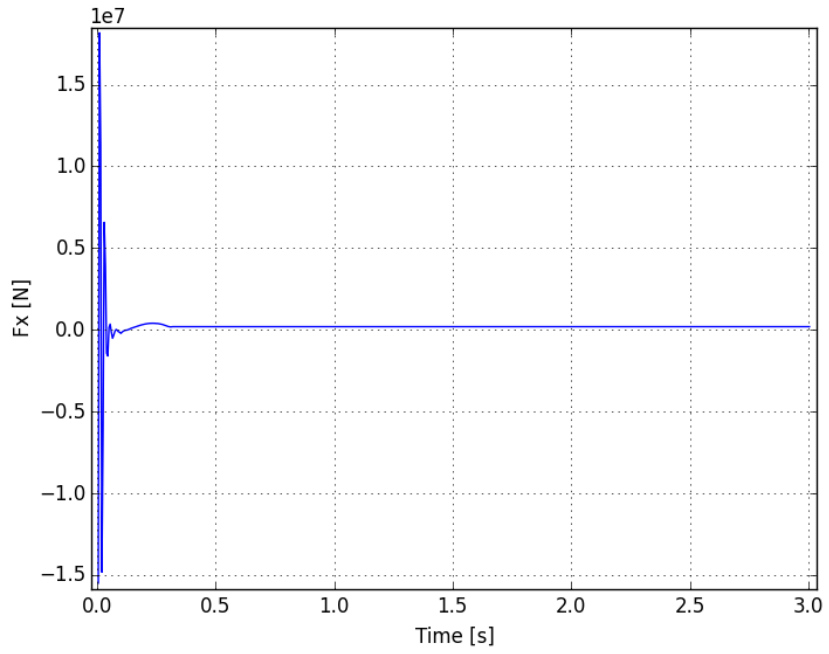
*NUMECA*



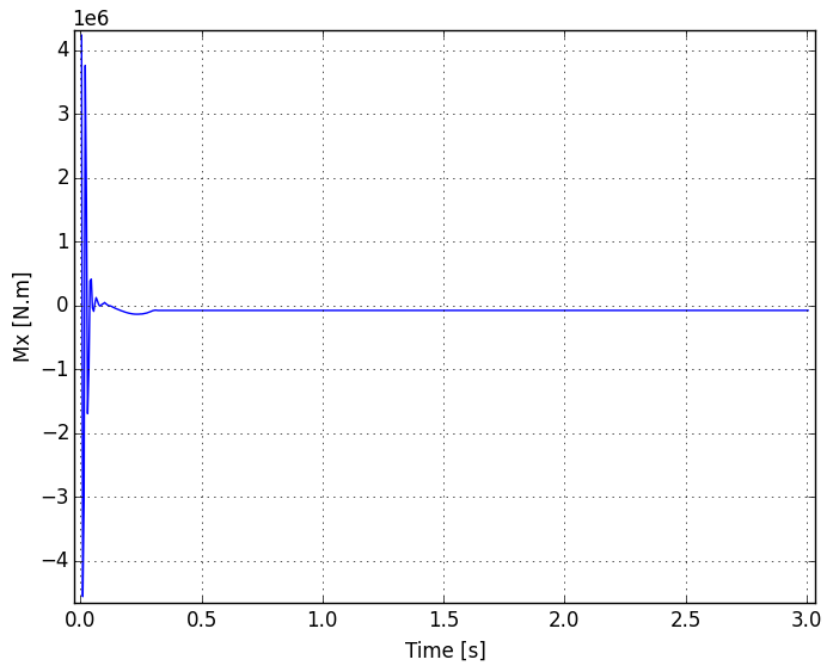
*NUMECA*



Thrust (T atau Fx)  
Fx(Propeller) vs. Time, J07



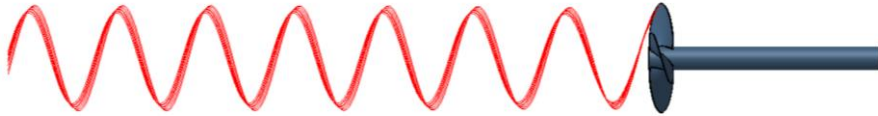
Momen (Q atau Mx)  
Mx(Propeller) vs. Time, J07



**J = 0,8**

Relative Velocity

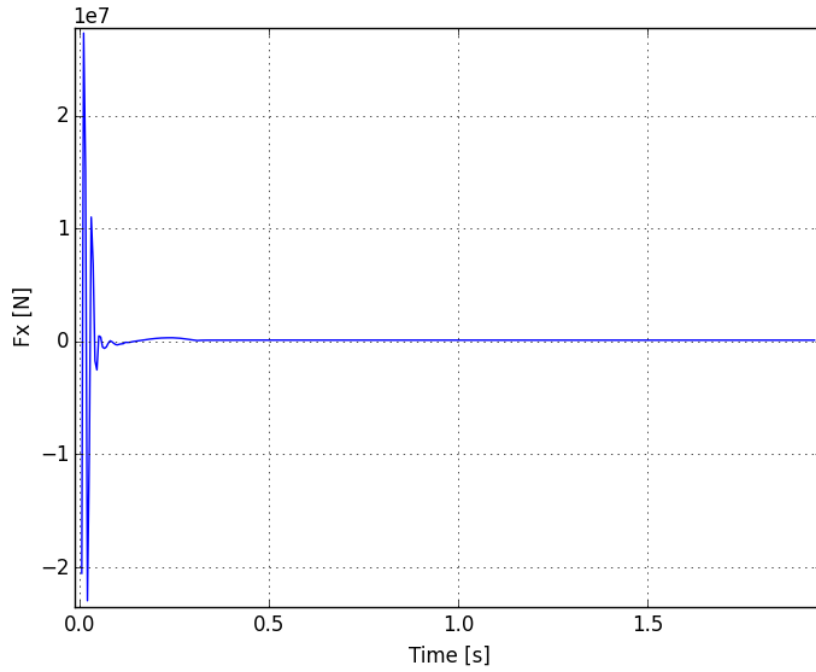
*NUMECA*



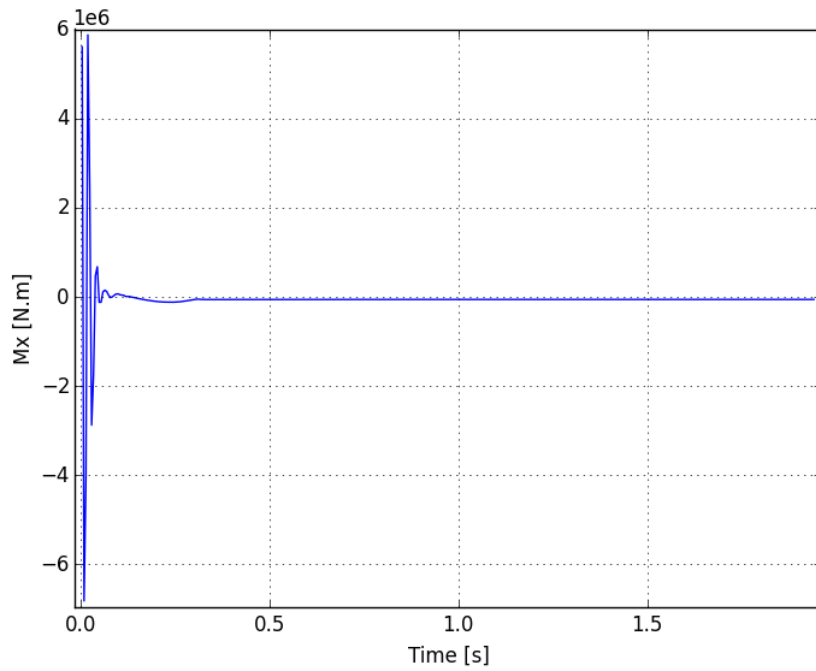
*NUMECA*



Thrust (T atau Fx)  
Fx(Propeller) vs. Time, J08



Momen (Q atau Mx)  
Mx(Propeller) vs. Time, J08

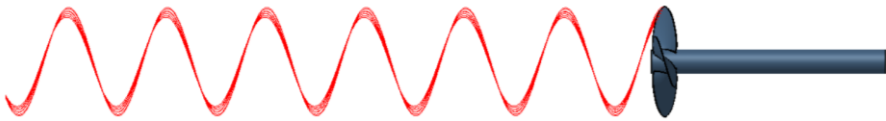




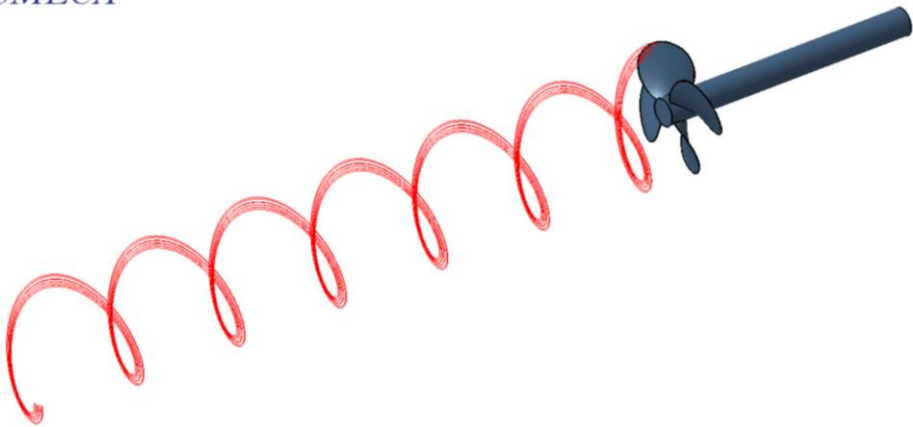
**J = 0,9**

Relative Velocity

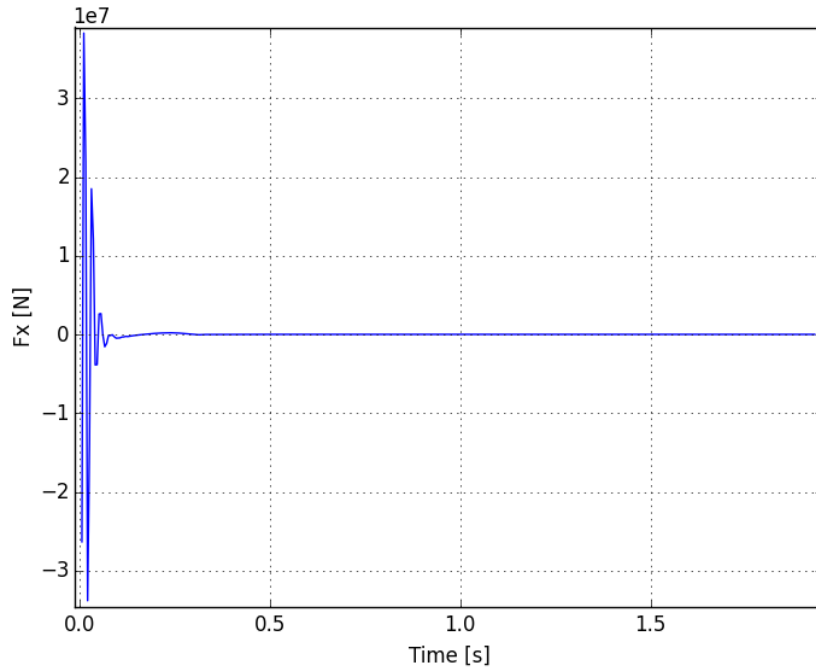
*NUMECA*



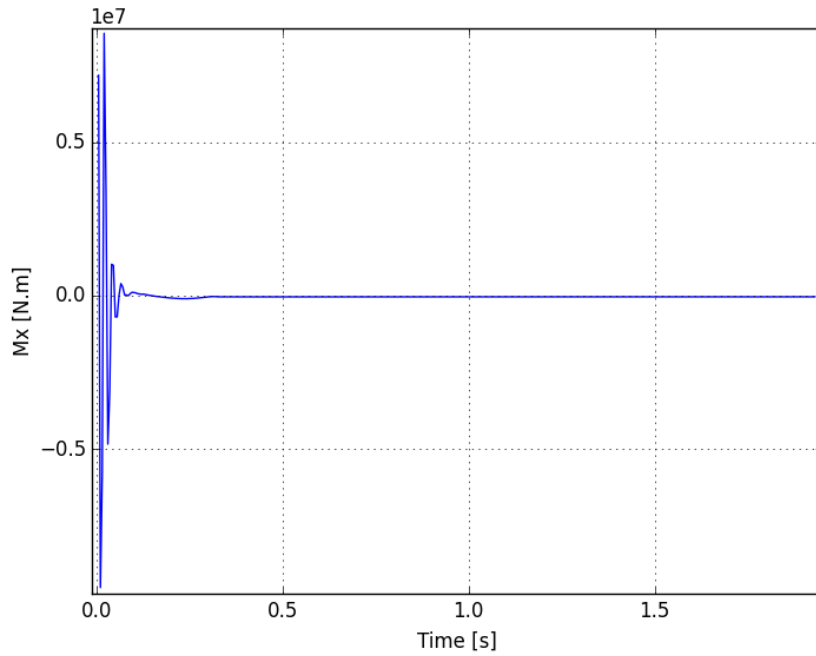
*NUMECA*



Thrust (T atau Fx)  
Fx(Propeller) vs. Time, J09

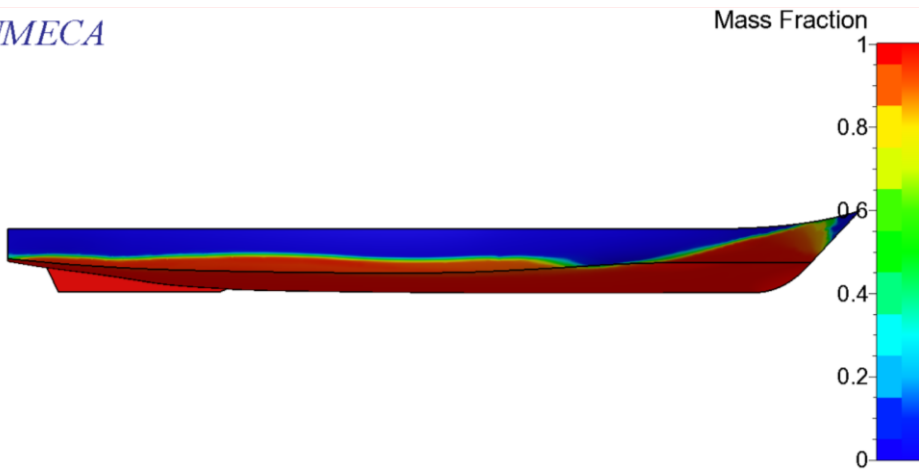


Momen (Q atau Mx)  
Mx(Propeller) vs. Time, J09

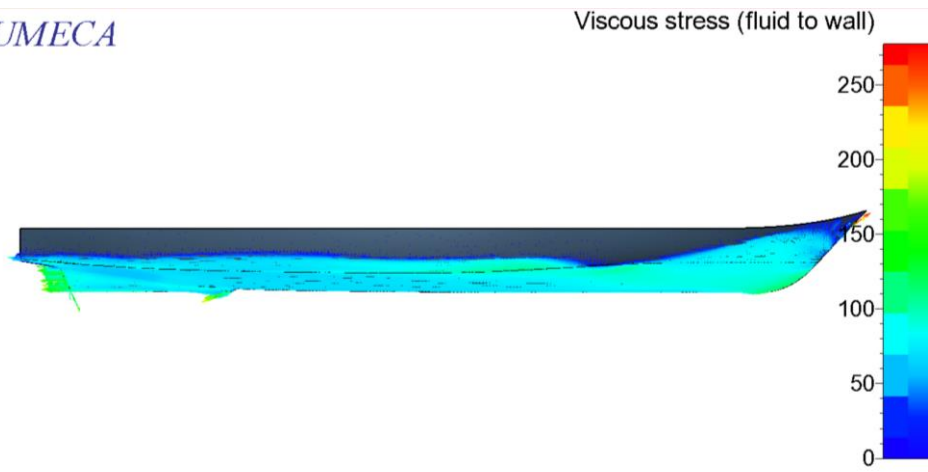


# Actuator Disc

*NUMECA*

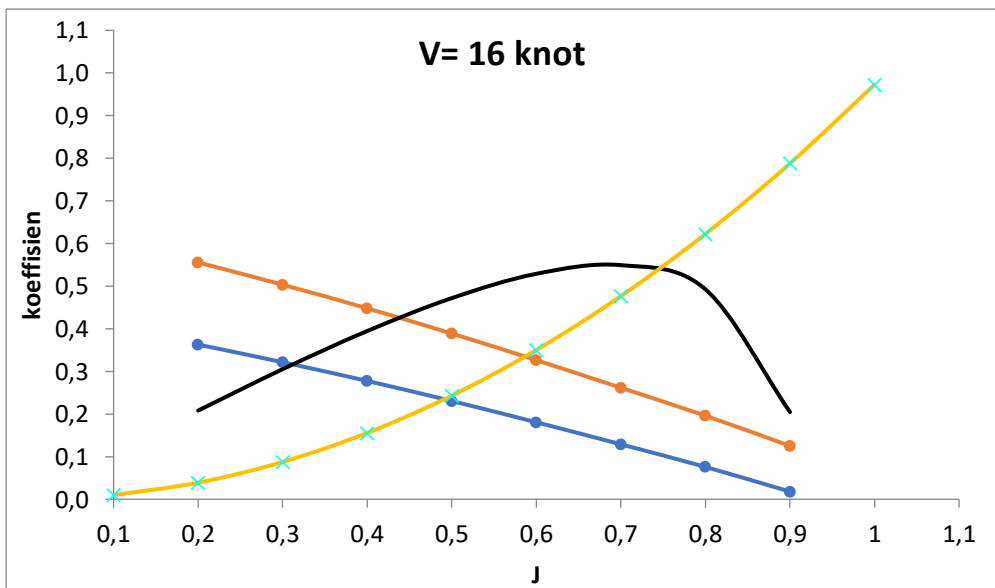
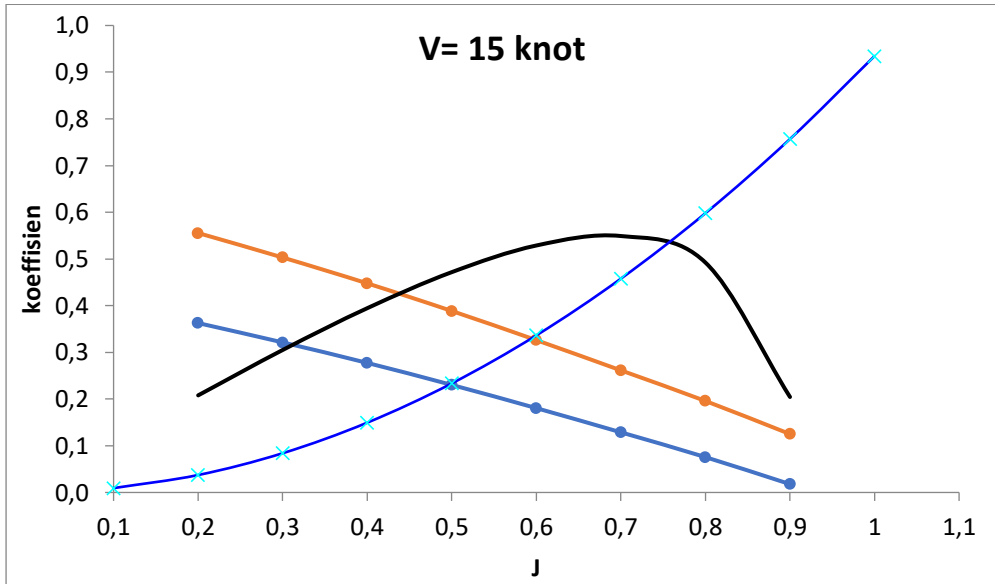


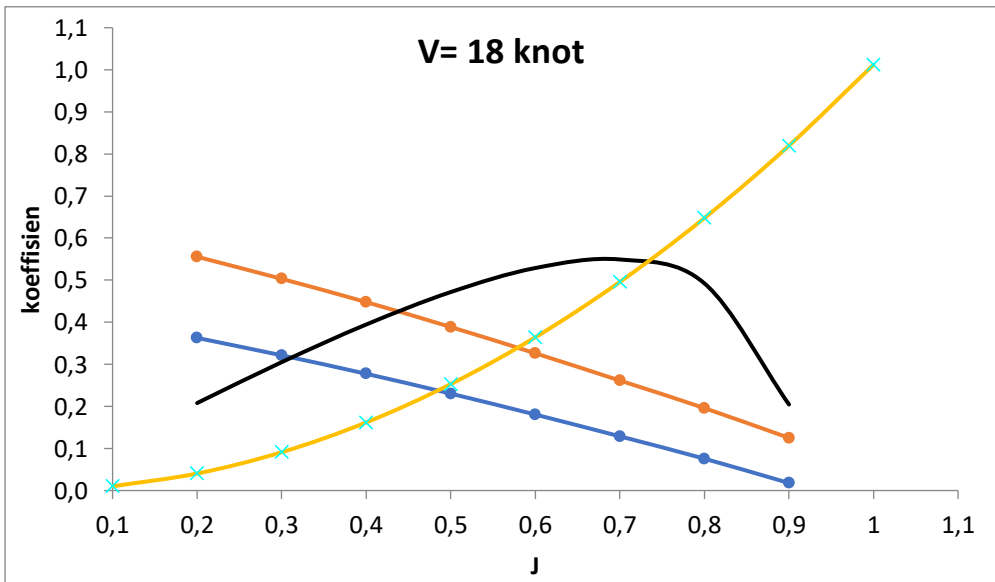
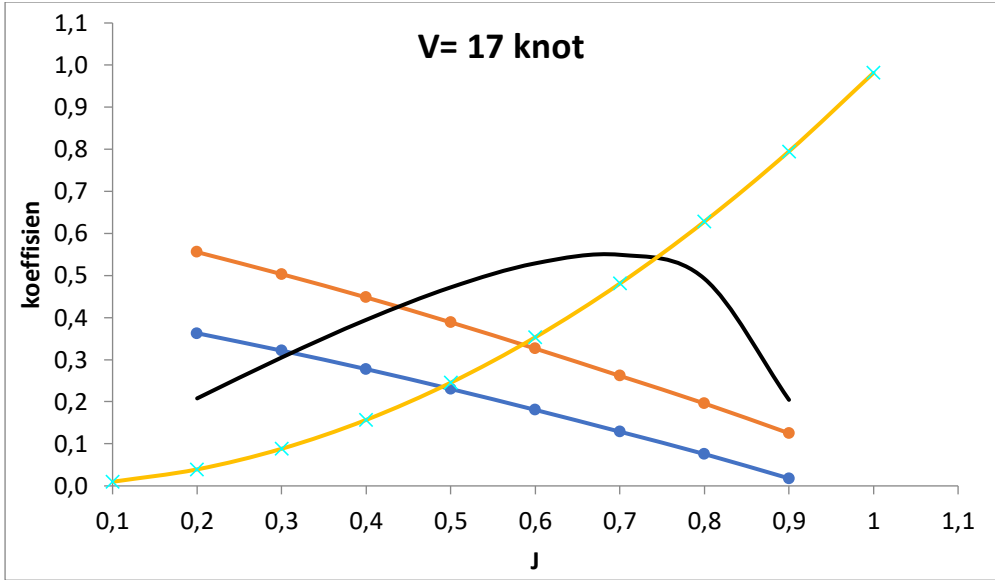
*NUMECA*

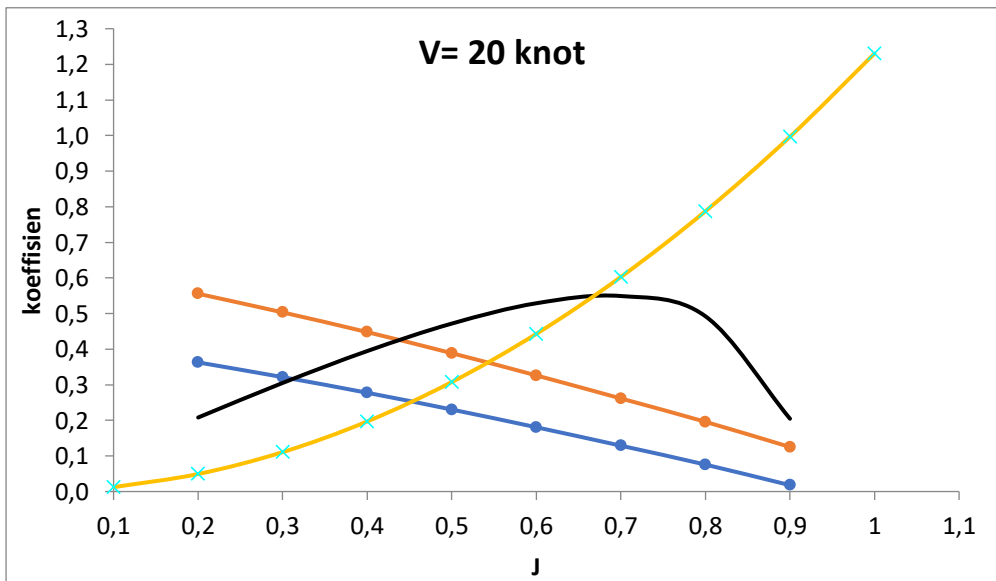
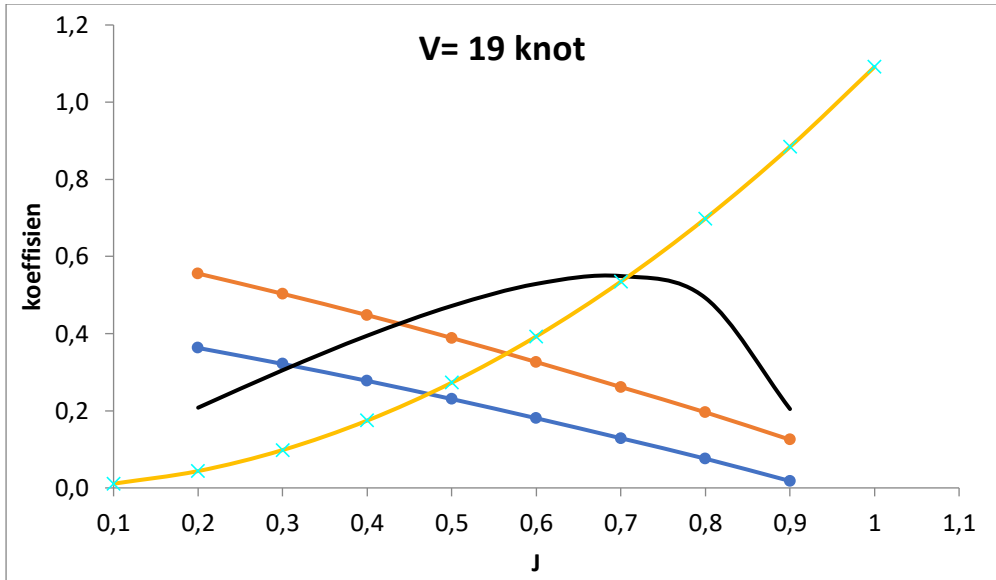


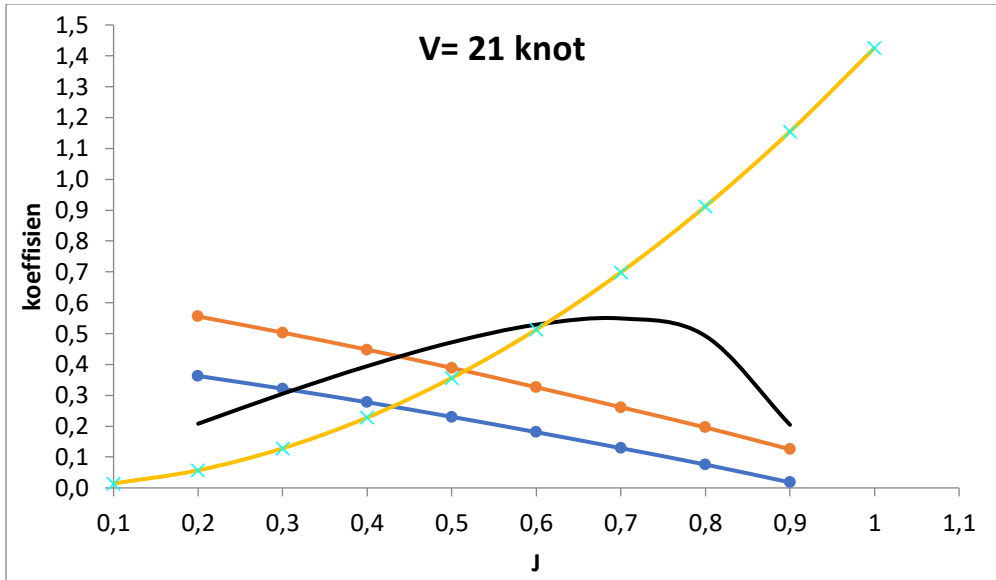
**PERHITUNGAN  
DAYA**

## Diagram Perbandingan Koefisien Thrust (KT)











## BIODATA PENULIS



Deliar Mahardika Candra, atau yang biasanya akrab dipanggil Candra, lahir di Blitar, 25 Juni 1997. Putra pertama dari pasangan guru, Mohammad Wahyudi dan Tentrem Sri Rahayu. Masa kecil penulis dihabiskan dengan bermain dan belajar di Desa Breml, Kec. Krucil, Kab. Probolinggo, yang berlokasi di kaki Gunung Argopuro. Kemudian pada tahun 2009, penulis pindah tempat tinggal ke Desa Pajurangan, Kec. Gending, Kab. Probolinggo.

Riwayat Pendidikan penulis yaitu diawali dari bersekolah di TK Dharmawanita Rengganis, kemudian di SDN Breml 1, SMP Negeri 1 Kraksaan, SMA Negeri 1 Probolinggo jurusan Ilmu Pengetahuan Alam, dan terakhir ketika penelitian ini dilakukan, yaitu di Institut Teknologi

Sepuluh Nopember (ITS).

Di ITS, penulis mengambil jurusan Teknik Sistem Perkapalan (*Marine Engineering*). Penulis tertarik pada perancangan sistem propulsi kapal, sehingga penulis memilih untuk mengambil penjurusan *Marine Design and Manufacture* (MMD).

Selama berkuliah di ITS, penulis melakukan kegiatan Kerja Praktik di PT. Adiluhung Saranasegara dan Balai Teknologi Hidrodinamika (BTH). Penulis juga aktif berorganisasi di UKM Kopma dr. Angka ITS. Selain itu, penulis juga aktif di beberapa kepanitiaan, antara lain Marine Icon 2016, Petrolida 2016, ITS Expo 2016, ITS Expo 2017, dan masih banyak lainnya. Penulis juga aktif di kegiatan kepanitiaan, yaitu sebagai Pemandu LKMW tingkat dasar dan tingkat lanjut.

### **Deliar Mahardika Candra**

deliarmahardikacandra@gmail.com

082333390922

ig: @dmahardikacandra