



**SKRIPSI – ME184834**

**STUDY EXPERIMENTAL KAVITASI PADA PROPELLER  
WAGENINGEN C4-40**

Hanung Widyanto

NRP 04211746000018

Dosen Pembimbing :

Irfan Syarif Arief, S.T.,M.T.

Sunarsih, S.T., M.ENG., Ph.D.

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

“Halaman ini sengaja di kosongkan”



**FINAL PROJECT – ME184834**

**CAVITATION EXPERIMENT STUDY ON *WAGENINGEN*  
PROPELLER C4-40**

Hanung Widyanto

NRP 04211746000018

Supervisor :

Irfan Syarif Arief, S.T.,M.T.

Sunarsih, S.T., M.ENG., Ph.D.

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

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

**LEMBAR PENGESAHAN****STUDY EXPERIMENTAL KAVITASI PADA PROPELLER  
WAGENINGEN C4-40****TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Marine Manufacturing and Design(MMD)

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**HANUNG WIDYANTO**

NRP 0421174600018

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Irfan Syarif Arief, S.T.,M.T.

NIP. 196912251997021001



2. Sunarsih, S.T., M.ENG., Ph.D.



“Halaman ini sengaja di kosongkan”

**LEMBAR PENGESAHAN**

**STUDY EXPERIMENTAL KAVITASI PADA PROPELLER  
WAGENINGEN C4-40**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Marine Manufacturing and Design(MMD)

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**HANUNG WIDYANTO**

NRP 0421174600018

Disetujui oleh Kepala Departemen



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

NIP.197903192008011008

“Halaman ini sengaja di kosongkan”



## STUDY EXPERIMENTAL KAVITASI PADA PROPELLER WAGENINGEN C4-40

Nama : Hanung Widyanto  
Nrp : 0421174600018  
Jurusan : T.Sistem Perkapalan  
Dosen Pembimbing : 1.Irfan Syarief Arief,S.T.,M.T  
2.Sunarsih, S.T., M.ENG., Ph.D.

### ABSTRAK

Propeller dalam prinsip kerjanya yaitu memindahkan dari tenaga rotasi menjadi daya dorong pada suatu fluida seperti air atau udara, daun propeller tersebut berperan sebagai sayap untuk menghasilkan gaya yang mengacu prinsip pada bernouli dan hukum gerak newton yang menghasilkan perbedaan tekanan antara permukaan depan dan belakang. Saat ini banyak kapal dilengkapi dengan CPP dan juga CPP ducted, baik untuk kapal maupun lepas pantai. Kinerja off-design dari CPP tidak hanya penting untuk performa powering kapal, namun juga untuk dynamic positioning dan manuver kapal tersebut. Disebabkan oleh kurangnya informasi pada sistematis untuk CPP dalam kasus tersebut, data B-series sering digunakan sebagai gantinya, baik untuk estimasi di tahap desain awal dan juga sebagai data akhir yang dikirim desain CPP baru yang spesifik, hanya karena tidak ada yang data lain yang tersedia kecuali data B-series. Dikarenakan adanya perbedaan tekanan pada daun menyebabkan terjadinya kavitasi, sedangkan kavitasi itu sendiri yaitu timbulnya atau terbentuknya gelembung-gelembung gas pada daun propeller dikarenakan tekanan menurun dibawah tekanan uap menyebabkan terjadi penguapan walaupun air belum menyentuh suhu 100 derajat celcius, itu di karenakan tekanan menurun dan suhu air untuk mendidih juga menurun. Apabila daun propeller mengalami kavitasi maka akan mengalami kerugian seperti terjadi kerusakan material pada daun, akan menurunnya efisiensi propeller sehingga daya dorong berkurang, terjadi kebisingan dan getaran. Dari getaran dan kebisingan tersebut maka adanya standar kenyamanan yang mengorbankan efisiensi baling-baling. Persyaratan yang saling bertentangan efisiensi dan kenyamanan memaksa desainer menyeimbangkan desain baling-baling berkenaan dengan kinerja kavitasi dan efisiensi, dan mengharuskan desainer untuk membayar lebih pada perbaikan baling-baling. Dengan diadakannya analisa kavitasi pada propeller pada c4-40 diharapkan mampu mendapatkan propeller yang terbaik.

**Kata Kunci :** Kavitasi, *Propeller C4-40 series, CFD*



“Halaman ini sengaja di kosongkan”

## **CAVITATION EXPERIMENT STUDY ON WAGENINGEN PROPELLER C4-40**

**The Name of student** : Hanung Widyanto  
**Nrp** : 0421174600018  
**Department** : Marine Engineering  
**Supervisor** : 1. Irfan Syarief Arief, S.T., M.T  
2. Sunarsih, S.T., M.ENG., Ph.D.

### **ABSTRAK**

Propeller in its working principle is moving from rotation power to thrust in a fluid such as water or air, the propeller leaves serve as a wing to produce a style that refers to the principle of Bernoulli and the laws of Newton's motion that produces a pressure difference between the front and rear surfaces. Nowadays many ships are equipped with the CPP and also the CPP ducted, both for ships and offshore. The off-design performance of the CPP is not only important for ship powering performance, but also for the dynamic positioning and maneuvering of the vessel. Due to the lack of information on systematic for the CPP in such cases, the B-series data is often used instead, both for estimation in the initial design phase and also as the final data sent by a new CPP-specific design, just because none of the other data is available except the B-series data. Due to the difference of pressure on the leaves causing cavitation, while the cavitation itself is the emergence or formation of gas bubbles on the propeller leaves due to the pressure decreased under vapor pressure causing evaporation occurs even though water has not touched the temperature 100 degrees Celsius, it is in because pressure decreases and the water temperature to boil also decreases. When the propeller leaves have cavitation, it will suffer losses such as material damage to the leaves, will decrease the propeller efficiency so that the thrust is reduced, noise and vibration occurs. From the vibration and noise, there is a standard of comfort that compromises propeller efficiency. The conflicting requirements of efficiency and convenience compel the designer to balance the propeller design with regard to cavitation performance and efficiency, and require designers to pay more on propeller repairs. With the cavitation analysis in the propeller on the C4-40 is expected to be able to obtain the best propeller.

**Keyword** : Cavitation, *Propeller C4-40 series, CFD*

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

## KATA PENGANTAR

*Assalamualaikum wr, wb.*

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena dengan rahmat, taufik, serta hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan tepat waktu yang berjudul :

### **“STUDY EXPERIMENTAL KAVITASI PADA PROPELLER WAGENINGEN C4-40”**

Tugas Akhir ini diajukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Bidang Studi *Marine Manufacturing and Design (MMD)* Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Pada kesempatan kali ini, penulis menyampaikan terimakasih kepada semua pihak yang telah berperan dalam penyusunan Tugas Akhir ini, yaitu :

1. Kedua orang tua penulis ( Bpk Suyanto dan Ibu Lilis Suryani ) dan Kakak atas doa, perhatian, dukungan moral, dan materi yang diberikan kepada penulis tanpa henti sehingga dapat terselesaikannya Tugas Akhir ini.
2. Irfan Syarif Arief, S.T.,M.T, selaku dosen pembimbing pertama atas semua pelajaran baik berupa kritik, saran, moral, solusi, dan inspirasi yang telah diberikan kepada penulis.
3. Ibu Sunarsih, S.T., M ENG., Ph.D selaku dosen pembimbing kedua yang sering memberian masukan, solusi, waktu dan tempat pengerjaan kepada penulis ketika penulis mengalami kesulitan dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
4. Ayu Damayanti yang telah memberikan semangat dan motivasi serta dukungannya untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Teman seperjuangan Tugas Akhir terutama teman-teman LJ Gasal Periode 2017 (Alan, Izzul, Hanafi dan semua teman teman MMD).
6. Kontrakan Sahabat Unyil yang selalu memberikan dukukan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Dan seluruh pihak yang telah membantu dalam proses penulisan Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

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

Surabaya, Januari 2020

Penulis

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

## DAFTAR ISI

COVER .....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK .....	ix
KATA PENGANTAR.....	xiv
DAFTAR ISI.....	xvi
DAFTAR TABEL .....	xviii
DAFTAR GAMBAR .....	xx
BAB I .....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	1
1.3 Tujuan Penulisan .....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat.....	2
BAB II.....	3
TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1. P ROPELLER.....	3
2.1.1. SISTEM PROPELLER .....	3
2.1.2. PROPELLER GEOMETRI.....	5
2.2. Karakteristik Propeller pada Open water test.....	9
2.3. KAVITASI.....	10
2.4. COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC (CFD) .....	17
2.5. MODEL PROPELLER WAGENINGEN SERIES C4-40.....	19
BAB III.....	21
METODOLOGI PENELITIAN .....	21
3.1. RENCANA PELAKSANAAN .....	21
3.2. Study Literatur.....	22
3.3. Penentuan Variable Penelitian.....	22
3.4. Perhitungan Kavitasasi .....	22
3.5. Simulasi CFD .....	23



3.6.	Pengujian Model.....	35
3.7.	Kesimpulan dan Saran.....	41
BAB IV .....		43
ANALISA dan PEMBAHASAN .....		43
4.1	Pendahuluan .....	43
4.2	Performa Propeller C4-40 .....	43
4.3	Kavitasi C4-40 - Perhitungan .....	45
4.4	Kavitasi C4-40 – Simulasi CFD.....	47
4.4.1.	Kavitasi C4-40 - <i>Pitch Angle</i> $0^0$ .....	47
4.4.2.	Kavitasi C4-40 – <i>Pitch Angle</i> $22,5^0$ .....	49
4.4.3.	Kavitasi C4-40 - <i>Pitch Angle</i> $45^0$ .....	51
4.4.4.	Kavitasi C4-40 - pada <i>Pitch Angle</i> dan RPM .....	53
4.5	Kavitasi C4-40 - Experiment.....	54
4.5.1	Kavitasi C4-40 - Pengujian $0^0$ .....	54
4.5.2	Kavitasi C4-40 - Pengujian $22,5^0$ .....	56
4.5.3	Kavitasi C4-40 - Pengujian $45^0$ .....	57
4.6	Kavitasi C4-40.....	58
BAB V .....		59
KESIMPULAN DAN SARAN .....		59
5.1.	Kesimpulan.....	59
5.2.	Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA.....		61
LAMPIRAN .....		63

**DAFTAR TABEL**

Tabel 3. 1 Validasi meshing.....	34
Tabel 3. 2. Hasil percobaan tanpa beban.....	40
Tabel 3. 3 Hasil percobaan propeller c4-40 pitch angle 0 <sup>0</sup> .....	40
Tabel 3. 4 Hasil percobaan propeller c4-40 pitch angle 22,5 <sup>0</sup> .....	40
Tabel 3. 5 Hasil percobaan propeller c4-40 pitch angle 45 <sup>0</sup> .....	41
Tabel 4. 1. Performa Propeller C4-40 Pitch Angle 0 <sup>o</sup> .....	43
Tabel 4. 2. Performa Propeller C4-40 Pitch Angle 22,5 <sup>o</sup> .....	44
Tabel 4. 3. Performa Propeller C4-40 Pitch Angle 45 <sup>o</sup> .....	45
Tabel 4. 4. Kavitasi C4-40 – Perhitungan Variasi model pengujian.....	46
Tabel 4. 5. Kavitasi C4-40 - perhitungan untuk mengetahui nilai TC.....	46
Tabel 4. 6. Kavitasi C4-40 – perhitungan untuk menunjukkan kavitasi.....	46
Tabel 4. 7. Kavitasi C4-40 - CFD.....	54
Tabel 4. 8. Kavitasi C4-40.....	58

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Propeller C-series .....	4
Gambar 2. 2. Comparison of open water efficiency with the ideal efficiency .....	5
Gambar 2. 3. Gaya angkat hidrofoil .....	6
Gambar 2. 4. Aerofoil section .....	6
Gambar 2. 5. Aerofoil section definition.....	6
Gambar 2. 6. Pitch Propeller.....	7
Gambar 2. 7. Rake propeller .....	7
Gambar 2. 8 Skew Propeller.....	8
Gambar 2. 9. C4-40 Series Propeller.....	8
Gambar 2. 10 Propeller B4-40 .....	9
Gambar 2. 11 Propeller C4-40 .....	9
Gambar 2. 12 Tekanan Terhadap Suhu .....	11
Gambar 2. 13 Kavitasi pada daun propeller.....	12
Gambar 2. 14. Akibat kavitasi.....	13
Gambar 2. 15 Tekanan dan aliran fluida pada foil.....	14
Gambar 2. 16 Perbedaan tekanan .....	15
Gambar 2. 17. Penentuan Boundary Condition dan Meshing.....	18
Gambar 2. 18. Model Propeller C4-40 dengan P/D 1.4 .....	19
Gambar 3. 1 Alur Pengerjaan Tugas akhir .....	21
Gambar 3. 2. Ukuran domain .....	23
Gambar 3. 3. Domain .....	24
Gambar 3. 4. Initial Mesh.....	24
Gambar 3. 5 Adapt to Geometry .....	25
Gambar 3. 6. Hasil Adapt to geometri.....	25
Gambar 3. 7. Snap to Geometry .....	26
Gambar 3. 8. Optimize .....	26
Gambar 3. 9. Viscous Layers .....	27
Gambar 3. 10. Hasil Meshing.....	27
Gambar 3. 11 General Parameter.....	28
Gambar 3. 12 Fluid Model .....	28
Gambar 3. 13. Flow Model .....	29
Gambar 3. 14. Boundary Condition .....	29
Gambar 3. 15. Body definition.....	30
Gambar 3. 16. Body Motion.....	30
Gambar 3. 17. Mesh Management .....	31
Gambar 3. 18. Initial Solution.....	31
Gambar 3. 19. Computational Control Variables dan Output.....	32
Gambar 3. 20. Hasil force.....	32
Gambar 3. 21. Hasil moment.....	33
Gambar 3. 22. Hasil cavitation fraction CFview .....	33

Gambar 3. 23. Validasi meshing.....	34
Gambar 3. 24 Propeller Wageningen C4-40 yang telah di buat.....	35
Gambar 3. 25 motor listrik mms .....	35
Gambar 3. 26 Tempat untuk pemasangan propeller.....	36
Gambar 3. 27 Kolam tempat pengujian.....	36
Gambar 3. 28. Kamera high speed .....	37
Gambar 3. 29. Dial Indikator.....	37
Gambar 3. 30. Regulator ,tang meter,volt meter .....	38
Gambar 3. 31. Tacho meter .....	38
Gambar 3. 32. Sketsa pitch angle $0^{\circ}$ .....	39
Gambar 3. 33. Sketsa pitch angle $22,5^{\circ}$ .....	39
Gambar 3. 34. Sketsa pitch angle $45^{\circ}$ .....	39
Gambar 4. 1. Kavitasi C4-40 Pitch Angle $0^{\circ}$ .....	43
Gambar 4. 2 Kavitasi C4-40 Pitch Angle $22,5^{\circ}$ .....	44
Gambar 4. 3 Kavitasi C4-40 Pitch Angle $45^{\circ}$ .....	45
Gambar 4. 4 Kavitasi C4-40 Pitch Angle $0^{\circ}$ rpm 100.....	47
Gambar 4. 5 Kavitasi C4-40 Pitch Angle $0^{\circ}$ rpm 300 .....	47
Gambar 4. 6 Kavitasi C4-40 Pitch Angle $0^{\circ}$ rpm 600 .....	47
Gambar 4. 7 Kavitasi C4-40 Pitch Angle $0^{\circ}$ rpm 1500 .....	48
Gambar 4. 8 Kavitasi C4-40 Pitch Angle $0^{\circ}$ rpm 2000 .....	48
Gambar 4. 9 Kavitasi C4-40 Pitch Angle $0^{\circ}$ rpm 2500 .....	48
Gambar 4. 10 Kavitasi C4-40 Pitch Angle $22,5^{\circ}$ rpm 100 .....	49
Gambar 4. 11 Kavitasi C4-40 Pitch Angle $22,5^{\circ}$ rpm 300 .....	49
Gambar 4. 12 Kavitasi C4-40 Pitch Angle $22,5^{\circ}$ rpm 600 .....	49
Gambar 4. 13 Kavitasi C4-40 Pitch Angle $22,5^{\circ}$ rpm 1500 .....	50
Gambar 4. 14 Kavitasi C4-40 Pitch Angle $22,5^{\circ}$ rpm 2000 .....	50
Gambar 4. 15 Kavitasi C4-40 Pitch Angle $22,5^{\circ}$ rpm 2500 .....	50
Gambar 4. 16. Kavitasi C4-40 Pitch Angle $45^{\circ}$ rpm 100 .....	51
Gambar 4. 17 Kavitasi C4-40 Pitch Angle $45^{\circ}$ rpm 300 .....	51
Gambar 4. 18 Kavitasi C4-40 Pitch Angle $45^{\circ}$ rpm 600 .....	51
Gambar 4. 19. Kavitasi C4-40 Pitch Angle $45^{\circ}$ rpm 1500 .....	52
Gambar 4. 20 Kavitasi C4-40 Pitch Angle $45^{\circ}$ rpm 2000 .....	52
Gambar 4. 21. Kavitasi C4-40 Pitch Angle $45^{\circ}$ rpm 2500 .....	52
Gambar 4. 22 Kavitasi C4-40 - CFD pada beberapa Pitch Angle dan RPM.....	53
Gambar 4. 23. Kavitasi pitch angle $0^{\circ}$ 100 rpm.....	54
Gambar 4. 24 Kavitasi pitch angle $0^{\circ}$ 300 rpm.....	55
Gambar 4. 25 Kavitasi pitch angle $0^{\circ}$ 600 rpm.....	55
Gambar 4. 26. Kavitasi Pitch Angle $22,5^{\circ}$ 100 rpm.....	56
Gambar 4. 27 Kavitasi Pitch Angle $22,5^{\circ}$ 300 rpm.....	56
Gambar 4. 28. Kavitasi Pitch Angle $22,5^{\circ}$ 600 rpm.....	56
Gambar 4. 29 Kavitasi Pitch Angle $45^{\circ}$ 100 rpm.....	57
Gambar 4. 30. Kavitasi Pitch Angle $45^{\circ}$ 300 rpm.....	57

Gambar 4. 31. Kavitasi Pitch Angle  $45^{\circ}$  600 rpm.....57

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Propeller dengan kata lain yaitu sebuah baling-baling yang umumnya biasa digunakan untuk pemanfaatan pada pembangkit listrik seperti kincir angin dan juga bisa digunakan untuk tenaga dorong, biasanya digunakan untuk menjalankan kapal ataupun pesawat terbang.

Propeller dalam prinsip kerjanya yaitu memindahkan dari tenaga rotasi menjadi daya dorong pada suatu fluida seperti air atau udara, daun propeller tersebut berperan sebagai sayap untuk menghasilkan gaya yang mengacu prinsip pada bernouli dan hukum gerak newton yang menghasilkan perbedaan tekanan antara permukaan depan dan belakang.

Dikarenakan adanya perbedaan tekanan pada daun menyebabkan terjadinya kavitasi, sedangkan kavitasi itu sendiri yaitu timbulnya atau terbentuknya gelembung-gelembung gas pada daun propeller dikarenakan tekanan menurun dibawah tekanan uap menyebabkan terjadi penguapan walaupun air belum menyentuh suhu 100 derajat celcius, itu di karenakan tekanan menurun dan suhu air untuk mendidih juga menurun. Apabila daun propeller mengalami kavitasi maka akan mengalami kerugian seperti terjadi kerusakan material pada daun, akan menurunnya efisiensi propeller sehingga daya dorong berkurang, terjadi kebisingan dan getaran. Dari getaran dan kebisingan tersebut maka adanya standar kenyamanan yang mengorbankan efisiensi baling-baling. Persyaratan yang saling bertentangan efisiensi dan kenyamanan memaksa desainer menyeimbangkan desain baling-baling berkenaan dengan kinerja kavitasi dan efisiensi, dan mengharuskan desainer untuk membayar lebih pada perbaikan baling-baling. Dengan diadakannya analisa kavitasi diharapkan mampu mendapatkan propeller yang terbaik.

Pada penelitian sebelumnya, yang di bahas pada C-series adalah masalah koefisien thrust dan torsi dan telah di lakukan analisa kavitasi surface propeller berseries C4-40 yang berbasis simulasi menggunakan CFD dengan 900 rpm. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, maka di lakukan analisa dengan menambahkan variasi RPM dan sudut menggunakan CFD beserta eksperimen untuk mengetahui terjadinya kavitasi.

### 1.2 Rumusan Masalah

Pada referensi sebelumnya yang dibahas pada C-series adalah masalah thrust dan torsi bisa di lihat pada referensi ” The Wageningen C- and D-Series Propellers”, “A QUASI- STEADY METHOD FOR EFFICIENTLY CONDUCTING OPEN WATER MODEL TESTS”, dan “Quasi-Steady Two-Quadrant Open Water Tests for the Wageningen Propeller C- and D-Series”, dan analisa kavitasi CFD dengan 900 rpm. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, maka di lakukan dengan menambahkan variasi RPM dan *pitch angle* serta eksperimen pada propeller C4-40, sehingga mendapat perumusan masalah bagaimana fenomena kavitasi terhadap propeller (CPP) berseries C4-40.

### 1.3 Tujuan Penulisan

Adapun tujuan tugas akhir yang akan di capai yaitu dengan metode analisa yang mana dengan cara menambahkan variasi RPM dan *pitch angle* menggunakan CFD beserta experimen untuk mengetahui terjadinya kavitasi, dan tercapainya tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui fenomena kavitasi terhadap propeller (CPP) berseries C4-40.

### 1.4 Batasan Masalah

- 1 Propeller yang digunakan adalah series C4-40 dengan spesifikasi sebagai berikut:

Diameter model	= 316,6 mm
Model pitch/diameter	= 1,4
Expanded area ratio	= 0,4
Number of Blade	= 4,0
Shaft diameter	= 80 mm
- 2 Kondisi propeller yang di uji pada putaran 100, 300, 600 rpm
- 3 Hanya membahas dan mendapatkan fenomena kavitasi pada propeller

### 1.5 Manfaat

- 1 Bagi pemilik kapal yang menggunakan propeller C4-40, bisa menjadi tolak ukur untuk pemilihan propeller.
- 2 Sebagai bahan untuk referensi dan eksperimen selanjutnya yang berhubungan dengan tugas akhir ini.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. PROPELLER

Kapal menurut Paulus agung hermowo (2008: 9) adalah kendaraan air dengan bentuk dan jenis tertentu, yang digerakan dengan angin, tenaga mekanik, energy lainnya, ditarik atau ditunda, termasuk kendaraan yang berdaya dukung dinamis, kendaraan di bawah permukaan air, serta alat apung dan bangunan terapung yang tidak berpindah-pindah. Sistem penggerak dari kapal tersebut dinamakan propulsi yang meliputi motor induk atau sistem penggerak utama, penggerak atau propulsor, dan komponen transmisi. Sehingga dapat disimpulkan sistem propulsi adalah suatu alat penggerak yang meliuti motor induk beserta komponen transmisinya. Salah satu contoh komponen transmisinya yaitu propeller sebagai berikut:

#### 2.1.1. SISTEM PROPELLER

Propeller menurut muh. Zainal Abidin dalam tugas akhirnya (2012:1) yaitu propulsor (alat gerak kapal) adalah alat yang dapat digunakan untuk memindahkan/menggerakkan kapal dari satu tempat ke tempat lainnya. Dengan kata lain dapat disimpulkan yaitu sebuah baling-baling yang umumnya biasa digunakan untuk pemanfaatan pada pembangkit listrik seperti kincir angin dan juga bisa digunakan untuk tenaga dorong, propeller juga mempunyai beberapa daun. Cara kerja dari propeller untuk menghasilkan tenaga daya dorong yaitu memindahkan dari putaran atau rotasi menjadi daya dorong pada suatu fluida seperti air ataupun udara, pada daun propeller foil tersebut berperan sebagai sayap seperti di pesawat terbang untuk menghasilkan gaya angkat pada prinsip bernouli dan hukum gerak newton yaitu untuk menghasilkan perbedaan tekanan antara permukaan depan dan belakang dari perbedaan tersebut sehingga menghasilkan gaya angkat yang selanjutnya akan menjadi daya dorong.

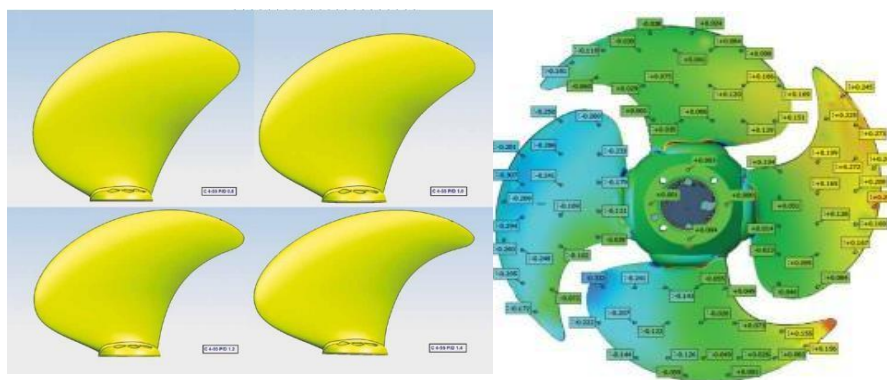
Dari berbagai jenis propeller, B-series dan C-,D-series merupakan jenis propeller yang diterbitkan oleh Maritime Research Institute Netherlands (MARIN). Untuk perbedaan fungsi B-series dan C-,D-series yaitu menurut Jie Dang pada papernya (2012:1) bahwa *The B-series comprise the open water characteristics of conventional fixed pitch propellers (FPPs) designed for merchant ships with various numbers of blades and blade area ratios at different pitch*. Sedangkan untuk fungsi dari CPP menurut J. Dang pada papernya (2012:1) yaitu *Different from Fixed Pitch Propellers (FPPs), Controllable Pitch Propellers (CPPs) are well-known for their advantage for full power utilization at any circumstances: accelerating and stopping, rapid manoeuvring, dynamic positioning (DP), etc. For these reasons, CPPs are widely used for multi-purpose vessels where their propulsors are often used in off-design conditions*. Untuk fungsi dari C-, D- series sendiri menurut J. Dang pada papernya (2012:1) yaitu *While designing the Wageningen C- and D-series propellers, an extensive propeller database search has been carried out first. A large number of practical propeller designs, made with up-to-date hydrodynamic knowledge was gathered. Studies have been carried out to relate the propeller main dimensions to the typical applications, so that each design of the blades reflects a certain scenario of a typical application. For instance, a 4-bladed CPP with large blade area and high*

*pitch ratio's is often used for the fast ferries and cruise ships where the comfort is weighted more than the efficiency; a 4- bladed CPP with small blade area and low pitch ratio's is typically used by transport ships with a large amount of harbour activities, such a shuttle tanker, where the propulsive efficiency is essentially important, rather than the comfort. The 5-bladed CPP designs are aimed at applications for the navies.*

Yang dimana FPP atau *fixed pitch propellers* adalah daun propeller dengan suatu sudut pitch tertentu yang tidak dapat di rubah sedangkan CPP atau *controllable pitch proppellers* yaitu suatu daun propeller yang dapat dirubah pada sudut pitch tertentu.

Saat ini banyak kapal dilengkapi dengan CPP dan juga CPP ducted, baik untuk kapal maupun lepas pantai. Kinerja off-design dari CPP tidak hanya penting untuk performa powering kapal, namun juga untuk dynamic positioning dan manuver kapal tersebut. Disebabkan oleh kurangnya informasi pada sistematis untuk CPP dalam kasus tersebut, data B-series sering digunakan sebagai gantinya, baik untuk estimasi di tahap desain awal dan juga sebagai data akhir yang dikirim desain CPP baru yang spesifik, hanya karena tidak data lain yang tersedia kecuali data B-series. Namun, karakteristik CPP berbeda secara substansial dari FPP. Ada permintaan tinggi untuk mengembangkan CPP seri dengan informasi desain yang lengkap untuk two-quadrant open water karakteristik.

Dalam seri Wageningen B yang terkenal dan Ka-series, seri C baru terdiri dari CPP terbuka sedangkan D-seri dengan ducted CPP. Tujuan utamanya pengembangan seri CPP baru adalah untuk membantu industri pembuatan kapal dan lepas pantai dalam memahami the off-design performance of the CPP, yang kekurangan informasi mengenai CPP. Berikut pada gambar 1. adalah contoh dari propeller C-series:

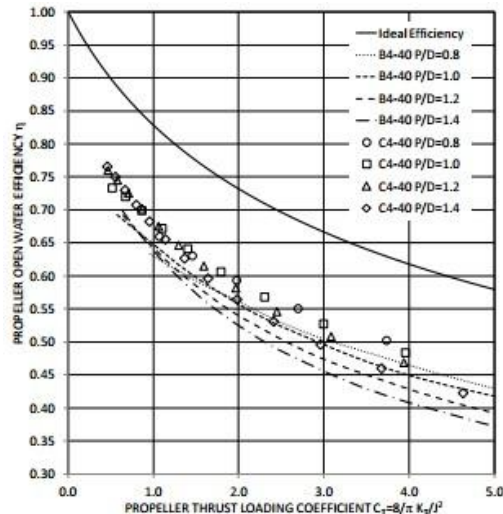


Gambar 2. 1. *Propeller C-series*  
(Dang,2012)

Bahan yang sering digunakan untuk membuat propeller yaitu Gray cast iron, Carbon and low-alloy steels, Chromium stainless steel, Chromium-nickel austenitic stainless steel Manganese bronze, Nickel -manganese bronze, Nickel-aluminium bronze, Manganese- Aluminium bronze. Tetapi pada penelitian J. Dang pada papernya (2012:3) yaitu *all propeller blades and hubs were made of aluminium with anodized final surface treatment.*

Dengan dikembangkannya propeller yang bekerjasama antara Maritime Research Institute Netherlands (MARIN) dan Joint Industry Project (JIP) menghasilkan new C-series terdiri dari CPP dan new D-series pada ducted CPP. Salah satu kelebihan dari new C-series yang dikembangkan yaitu:

1. Effisiensi lebih bagus di karenakan mendekati efisiensi ideal dapat dilihat pada gambar 2. sebagai berikut:



Gambar 2. 2. Comparison of open water efficiency with the ideal efficiency (Dang,2012)

2. Dikarenakan CPP lebih menguntungkan pada daya penuh dalam keadaan apa pun: *accelerating* dan *stopping*, *manoeuvring*, *dynamic positioning* (DP) dan lain lain.

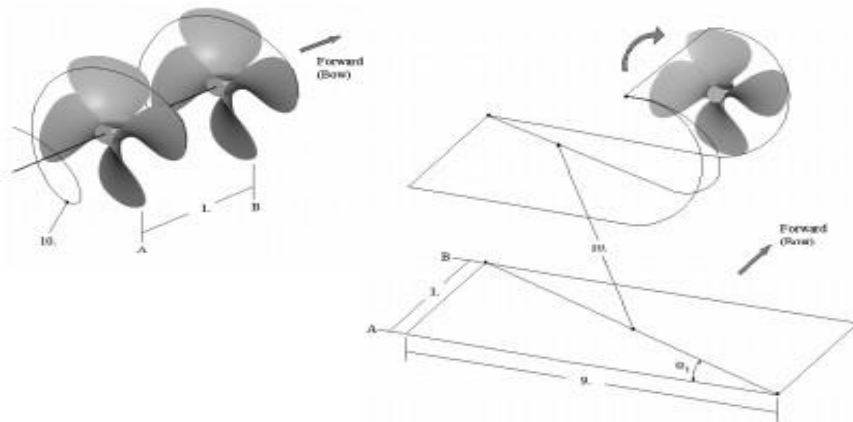
### 2.1.2. PROPELLER GEOMETRI

Dalam bentuk propeller dibutuhkan adanya hirodinamis dengan kata lain hidrofoil yang dimana adanya suatu lift dan drag, suatu gaya lift harus lebih besar dari suatu gaya drag yang pada dasarnya hidrofoil terjadi di suatu fluida dengan kecepatan tertentu agar mengalami hidrodinamika. Hidrodinamika sendiri adalah suatu perbedaan kecepatan dibagian bawah dan bagian atas. Fluida pada bagian atas akan mengalami lebih cepat dibandingkan dengan kecepatan di bawah aerofoil. Fenomena ini akan menyebabkan terjadinya suatu perbedaan tekanan yang pada akhirnya menimbulkan suatu gaya lift atau gaya angkat.



b. Pitch

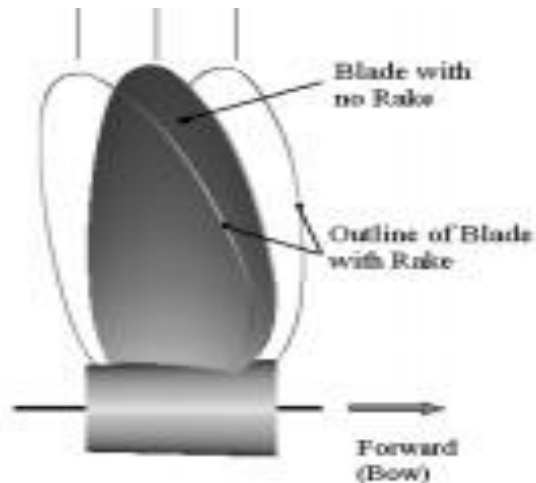
Pitch adalah suatu jarak aksial yang ditempuh oleh propeller pada satu kali putaran (360 derajat). Pada prinsipnya, pengertian pitch dapat di analogikan akan sama dengan gear pada mobil. Suatu panjang pitch bisa dilihat pada gambar 6. dengan definisi nomer 1 adalah panjang pitch.



Gambar 2. 6. *Pitch Propeller*  
(Federal propeller,2000)

c. Rake

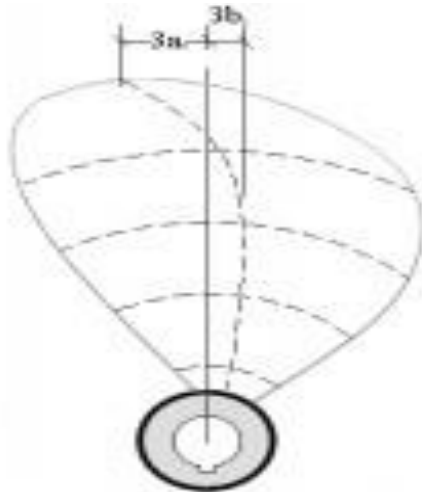
Rake adalah Kemiringan daun propeller ke depan atau belakang dari Blade. Rake positif yang berarti kemiringan daun propeller ke arah ujung belakang hub. Sedangkan Rake negatif yang berarti kemiringan daun propeller ke arah ujung depan hub. Dapat ditentukan dalam inci di ujung daun propeller atau dalam derajat.



Gambar 2. 7. *Rake propeller*  
(Federal propeller,2000)

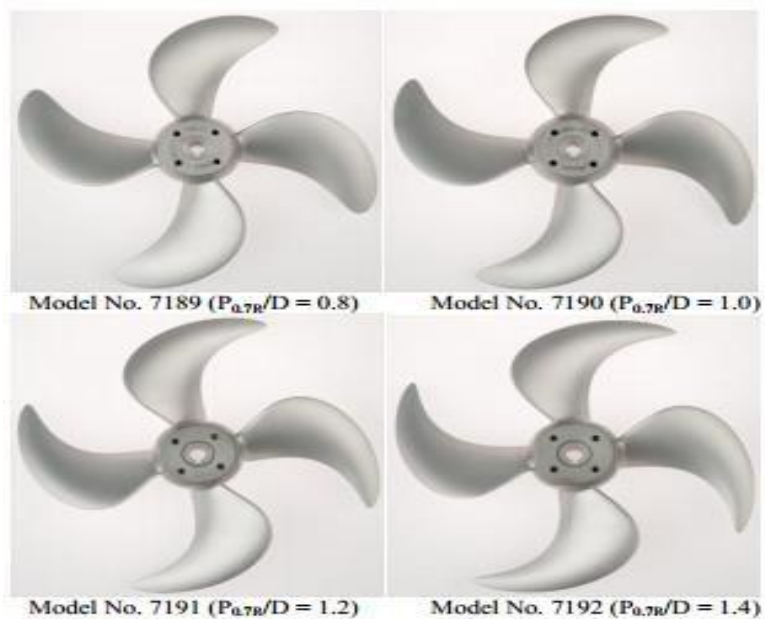
## d. Skew

Skew adalah suatu Blade Centre Line yang melengkung kebelakang dari arah putaran propeller seperti pada gambar 2.8. berikut.



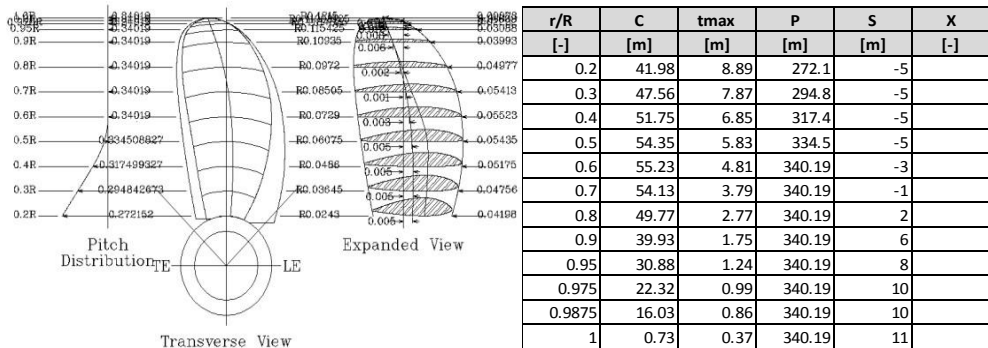
Gambar 2. 8 *Skew Propeller*  
(Federal propeller,2000)

Untuk data geometry C4-40 series propeller yaitu menggunakan software MC440 yang dapat didownload di Maritime Research Institute Netherlands. yang akan menghasilkan gambar C4-40 series pada gambar 2.9. seperti berikut:

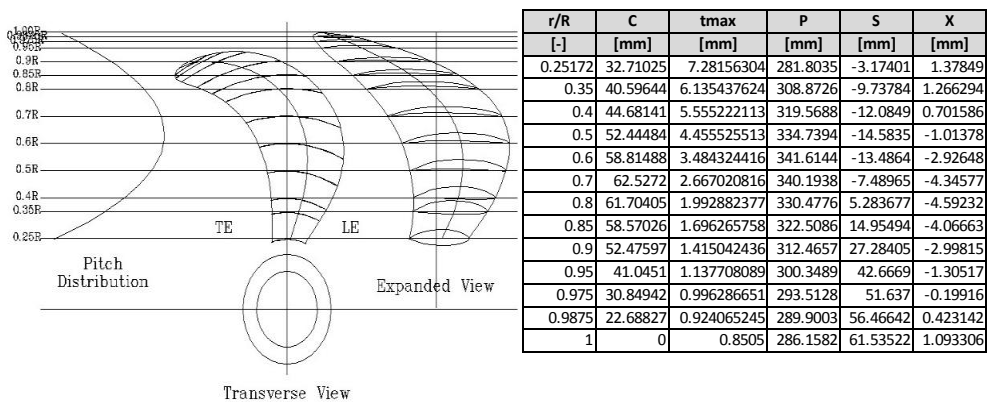


Gambar 2. 9. *C4-40 Series Propeller*  
(Dang,2012)

Dari pengertian diatas secara umum perubahan dari propeller B4-40 series menjadi propeller C4-40 series yaitu dapat dilihat pada Gambar 2.10 dan 2.11. sebagai berikut:



Gambar 2. 10 Propeller B4-40  
(Suranto,2018)



Gambar 2. 11 Propeller C4-40  
(Suranto,2018)

## 2.2. Karakteristik Propeller pada Open water test

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

### 1. Koefisien Thrust

$$\frac{T_{prop}}{\rho x n^2 D^4} \quad (2. 1)$$

### 2. Koefisien Torque

$$\frac{Q_{prop}}{\rho x n^2 D^5} \quad (2. 2)$$

## 3. Koefisien Advance Propeller

$$\frac{VA}{n \times D} \quad (2.3)$$

(Carlton,2016)

## 4. Efficiency Propeller Open Water

Efficiency Propeller Open Water adalah rasio perbandingan antara thrust horsepower (THP) dan delivered horsepower (DHP)

Dimana,

$$THP = T \times Va \quad (2.4)$$

$$DHP = 2 \times \pi \times n \times Q \quad (2.5)$$

(Carlton,2012)

Sehingga,

$$\eta_0 = \frac{T \times Va}{2 \times \pi \times n \times Q} \quad (2.6)$$

dimana,

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

$n$  =putaran baling-baling (rps)

$D$  =Diameter baling-baling (m)

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

(Carlton,2016)

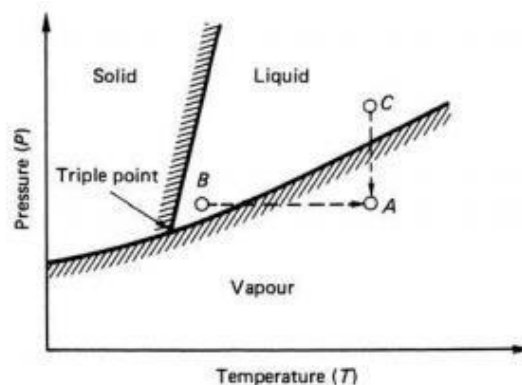
**2.3. KAVITASI**

Kavitasi adalah timbulnya atau terbentuknya suatu gelembung-gelembung gas pada bagian daun propeller dikarenakan tekanan menurun dengan suhu yang tetap akan menyebabkan terjadi penguapan walaupun air akan mendidih atau menguap pada suhu 100 derajat celsius.

## a. Dasar prinsip dan penyebab terjadi kavitasi

Kavitasi sendiri yaitu suatu pembentukan gelembung gas udara karena tekanan yang sangat rendah mencapai dibawah tekanan uap, sehingga air menguap pada tekanan rendah. Seperti pada gambar 2.12. suhu terhadap tekanan sebagai berikut:





Gambar 2. 12 Tekanan Terhadap Suhu  
(Carlton,2007)

Apabila suatu keadaan benda B ataupun C dengan salah satu suhu atau tekanan menurun dibawah garis terjadinya vapor maka disitu akan terjadi gelembung yang menyebabkan terjadinya kavitasi, sementara penyebab terjadinya kavitasi bisa dikarenakan tekanan dan suhu. Dimana tekanan sangat dipengaruhi oleh kecepatan propeller, apabila suatu propeller kecepatan lebih cepat maka tekanan akan lebih rendah yang pada akhirnya menyebabkan kavitasi.

#### b. Macam Kavitasi

Laboratorium uji kavitasi membuat sebuah sketsa ataupun memotret pola suatu kavitasi yang terjadi. Demikian dari hasil itu sering memberikan penjelasan hasil yang didapat berdasarkan pada penglihatan mata, yaitu adanya kavitasi berupa uap (cloud), busa (foam), kabut (mist), lembaran (sheet), gelembung, buih (froth), bercak (spot), dan garis (streak), dan sebagainya. Dari segi fisika mengenai proses kavitasi, pembedaan kavitasi menurut jenisnya. Namun demikian pembedaan itu dalam prakteknya terdapat banyak kegunaannya. Tidak ada standar nyata yang dipakai dalam yang dapat dipakai untuk menerangkan jenis kavitasi. tetapi bentuk kavitasi harus mencakup keterangan mengenai letak, ukuran, struktur, dan dinamika kavitasi, maupun dinamika aliran yang terjadi. Untuk macamnya menurut Tutug Triasniawan (hal: 4) yaitu:

##### 1. Berdasarkan letak:

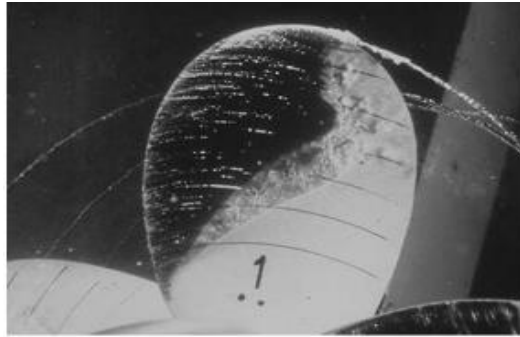
###### Ujung propeller

Contoh: Kavitasi diujung atau tip, yaitu kavitasi yang terjadi di permukaanujung propeller. kavitasi pusaran (vortex cavitation), yaitu terjadi adanya tekanan rendah menjadikan pusaran (tip vortex).

###### Pangkal (Root fillet)

Contoh: Kavitasi pangkal daun (root cavitation), yaitu terjadi tekanan rendah di pangkal daun propeller.

Celah antara daun dan tabung baling-baling (Hub atau konis)



Gambar 2. 13 Kavitasi pada daun propeller  
(Carlton,2007)

2. Menurut letak penampang, misalnya penampang di tengah (midchord)
  - a. Tepi depan
  - b. Tepi ikut :Kavitasi dengan tekanan rendah di pusaran ikut di dalam aliran meninggalkan propeller
  - c. Alas
  - d. Sisi hisap (punggung): Contoh kavitasi yang terjadi pada punggung atau sisi hisap propeller
  - e. Sisi tekanan (muka ) : Contoh kavitasi pada sisi tekanan (muka) propeller. Kavitasi pada umumnya di timbulkan akibat kerja propeller yang sedemikian rupa hingga sudut pukul lokal baling-baling itu sangat negatif
  - f. Antara baling-baling dan badan kapal : Kavitasi yang terjadi pusaran ujung daun baling- baling yang dalam interval tertentu merentang hingga mencapai permukaan badan kapal
3. Berdasarkan struktur:
  - a. Kavitasi lembaran atau (sheet cavitation)
  - b. Kavitasi bercak berbentuk lembaran; sempit, melekat pada permukaan, timbul suatu bercak kekasaran yang terpercil.
  - c. Kavitasi garis
  - d. Kavitasi awan (dibagian belakang atau ujung patah kavitasi lembaran dalam medan arus ikut, umumnya terkait dengan erosi)
  - e. Kavitasi gelembung
  - f. Kavitasi pusaran
4. Dinamika rongga:
  - a. Tunak
  - b. Tak tunak
  - c. Tidak menetap
  - d. Transien atau bergerak

- e. Menempel (secara tetap atau berlangsung dalam interval waktu, dalam bentuk kavitasi yang mengembang sebagian atau sepenuhnya atau sebagai sejumlah pusaran)
- f. Bergerak mengikut (misalnya, kavitasi pusaran)

c. Kerugian Kavitasi

Kerugian kavitasi dapat berupa sebagai berikut:

1. Effisiensi propeller akan menurun.
2. Akan memberikan kecepatan yang menurun karena suatu sistem propulsor terganggu.
3. Terjadinya kerusakan pada bahan propeller atau Erosi bahan.
4. Erosi yang terjadi dibedakan menjadi 2 yaitu: keausan atau pengasaran dan burrik (pitting).
5. Menyebabkan getaran
6. Menyebabkan kebisingan



Gambar 2. 14. Akibat kavitasi

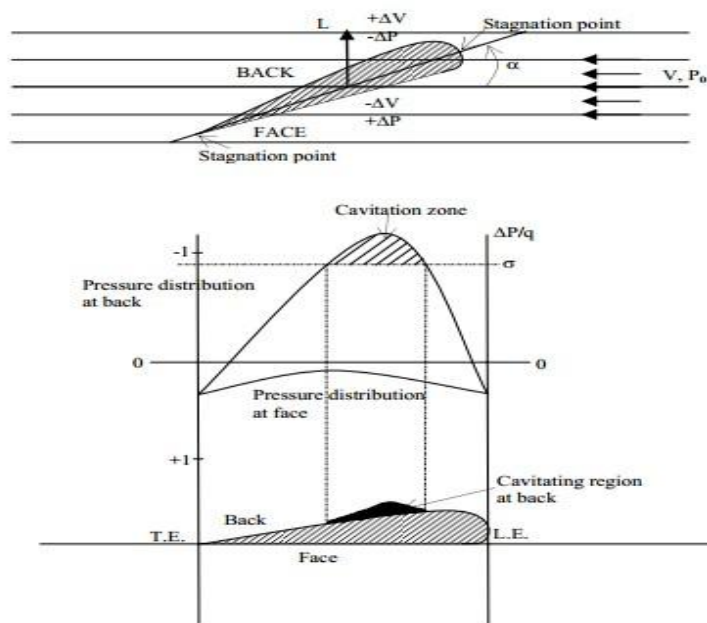
Cukup banyak yang dilakukan untuk menahan akibat dari erosi, dengan percobaan kavitasi, tubrukan atau lainnya. Pada pengujian erosi pada benda uji dalam fluida dapat ditimbulkan dengan menggetarkan benda tersebut, misalnya diajukan dalam “Standard Method of Vibratory Cavitation Erosion Test”. Pengujian demikian dapat dilakukan di tempat yang mempunyai fasilitas untuk foil yang berputar, di tempat yang mempunyai apparatus untuk diskus yang berputar (Dashnaw dan kawan-kawan, 1980), atau di terusan aliran air dengan sirkulasi tertutup (Hansson dan Morch, 1977). Bagian pengujian dari fasilitas ini mempunyai alat pemegang benda uji (specimen holder). Di alat ini benda akan diuji disisipkan demikian rupa hingga merupakan bagian dari dinding induk (central wall) yang mulus. Gambar 10 menunjukkan sebuah alat pemegang benda uji. Alliran melewati ke dua sisi dinding tersebut secara simetris. Sebuah lubang di dinding tersebut akan menyebabkan rongga kavitasi di dekat benda di dalam aliran menuju ke benda (upstream). Dengan mengatur tekanan dalam tekanan kempis dan kecepatan aliran maka rongga tersebut akan mengempis di dekat permukaan benda uji. Salah satu cara untuk mengkalibrasi berbagai kerusakan akibat kavitasi adalah dengan memakai aloi nikel yang kekuatan dan kekerasannya ditentukan

lebih dulu sebagai bahan standar. Secara umum dapat diperhatikan bahwa semakin keras, kuat, dan kaku (modulus besar) material itu semakin tahan terhadap kerusakan erosi.

d. Aliran Kavitasi

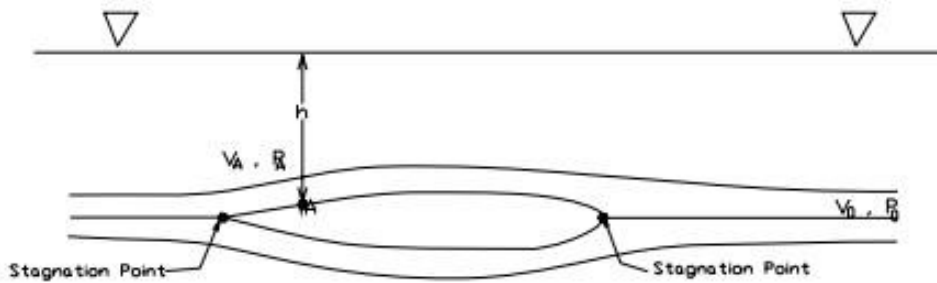
Banyak hal yang bisa menyebabkan kavitasi. Contoh pada kehidupan sehari-hari adalah air yang mendidih. Dalam air yang mendidih tekanan uap akan naik karena kenaikan suhu air. Dalam hidrodinamika kavitasi umumnya disebabkan oleh aliran. Aliran kavitasi demikian merupakan aliran dua fase yang terdiri dari cairan dan uap air, dan transisi fase disebabkan karena perubahan tekanan.

Gambar 2.15. menunjukkan mekanisme terjadinya kavitasi. Sebuah penampang daun ataupun foil udara diletakkan pada sudut tertentu dalam aliran 2-dimensi tanpa kekentalan.



Gambar 2. 15 Tekanan dan aliran fluida pada foil  
(Eisenberg,1953)

Yang dimana pada gambar 2.16. tekanan pada titik A tidak boleh melebihi, apabila melebihi akan terjadi kavitasi.



Gambar 2. 16 Perbedaan tekanan

(Eisenberg,1953)

Yaitu menggunakan rumus :

$$p_a \leq p_v$$

Atau

$$\frac{p_0 - p_a}{\frac{1}{2} \rho v^2} \geq \frac{p_0 - p_v}{\frac{1}{2} \rho v^2}$$

Dimana  $p_0$  dan  $V$ , tekanan dan kecepatan fluida. Sedangkan  $p_a$  dan  $V_a$  tekanan dan kecepatan pada posisi di titik A. Untuk mengetahui tekanan di dalam air sehingga menggunakan Bernoulli Equation:

$$p_0 + \frac{1}{2} \rho V^2 = p_a + \frac{1}{2} \rho V_a^2$$

atau

$$p_0 - p_a = \frac{1}{2} \rho V_a^2 - \frac{1}{2} \rho V^2$$

Mensubstitusi antara persamaan 1 dan 2 di hasilkan :

$$\frac{p_0 - p_a}{\frac{1}{2} \rho v^2} = \frac{\frac{1}{2} \rho V_a^2 - \frac{1}{2} \rho V^2}{\frac{1}{2} \rho v^2}$$

atau

$$\frac{\Delta p}{q} \geq \frac{p_0 - p_v}{\frac{1}{2} \rho v^2}$$

Dimana  $\sigma$  adalah cavitation number dan  $C_p$  adalah pressure coefficient, sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{p_0 - p_v}{\frac{1}{2} \rho v^2}$$

dan

$$C_p = \frac{\Delta p}{q}$$

Dimana  $p_0$  adalah tekanan kedalaman di tambah dengan tekanan atmosferic yaitu :

$$\sigma = \frac{p_{atm} + p_h - p_v}{\frac{1}{2} \rho v^2}$$

Dengan  $p_h = \rho g h$

Dikarenakan  $\sigma$  cavitation number adalah konstan dengan adanya perubahan tiap  $C_p$ , maka kavitasi akan terjadi dengan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma \leq \frac{\Delta p}{q}$$

Kavitasi tidak akan terjadi jika dengan persamaan sebagai berikut

$$\sigma > \frac{\Delta p}{q}$$

e. Kavitasi model

Menurut Lucian Hanimann (2016) *Four different cavitation models are considered. The Kunz, Merkle and Schnerr-Sauer model are already available in OpenFOAM. The Zwart model was then added since it is one of the standard models for commercial codes.* Tetapi yang digunakan pada software ada 3 yaitu *The Kunz, Merkle and Schnerr-Sauer.*

1. Kunz

Menurut Robert F Kunz (2000) dimana pada permodelan kavitasi ini yaitu sheet kavitasi perubahan dari vapor ke liquid adalah  $Re$ , dan  $Rc$  adalah perubahan liquid ke vapor

$$Re = \frac{C_{dest} \rho_v \alpha l \min [0, p - p_{sat}]}{\rho l \frac{U_{\infty}^2}{2} t_{\infty}}$$

$$Rc = \frac{C_{prod} \rho_v \alpha l^2 (1 - \alpha)}{t_{\infty}}$$

Dimana:

$$C_{dest}=1000 \quad C_{prod}=1000$$

$U_{\infty}$  adalah kecepatan free stream and  $pl$  waktu free stream biasanya di definisikan sebagai  $d/U_{\infty}$  dengan  $d$  sebagai sekala panjang ada body diameter.

## 2. Merkle

Menurut CL Merkle (2006) dimana model ini digunakan :

$$Re = k_v \frac{\rho_v \alpha_l}{t_{\infty}} \min \left[ 1, \max \left( \frac{p_{\text{Sat}} - p}{k_p p_v}, 0 \right) \right]$$

$$Rc = k_l \frac{\rho_v \alpha_v}{t_{\infty}} \min \left[ 1, \max \left( \frac{p - p_{\text{Sat}}}{k_p p_v}, 0 \right) \right]$$

## 3. Schnerr-Sauer-Yuan

Menurut Jurgen Sauer (2001) dimana model ini digunakan untuk bubbles:

$$Re = \frac{\rho_v \rho_l}{\rho} \alpha_v (1 - \alpha_v) \frac{3}{R_b} \sqrt{\frac{2}{3} \frac{p_{\text{Sat}} - p}{\rho_l}}$$

$$Rc = \frac{\rho_v \rho_l}{\rho} \alpha_v (1 - \alpha_v) \frac{3}{R_b} \sqrt{\frac{2}{3} \frac{p - p_{\text{Sat}}}{\rho_l}}$$

Dengan  $R_b$  sebagai radius gelembung :

$$R_b = \left( \frac{\alpha_v}{1 - \alpha_v} \frac{3}{4\pi n} \right)^{1/3}$$

Konstanta yang harus di tentukan adalah jumlahnya gelembung uap per volume cairan (n). dengan nilai  $1.510^{14}$  nuclei/m<sup>3</sup>.

## 2.4. COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC (CFD)

Computational Fluid Dynamic (CFD) adalah metode analisa numerik yang digunakan untuk menyelesaikan masalah dinamika fluida. Sejak kemajuan besar dalam hal kinerja komputer, metode Computational Fluid Dynamic (CFD) digunakan untuk memecahkan persamaan Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) yang telah diterapkan untuk berbagai jenis propeller Subhas (2012).

Sejarah CFD berawal pada tahun 60-an dan mulai terkenal pada tahun 70-an, awalnya pemakaian konsep CFD hanya digunakan untuk aliran fluida dan reaksi kimia, namun seiring dengan berkembangnya industri di tahun 90-an membuat CFD makin dibutuhkan pada berbagai aplikasi lain. Contohnya sekarang ini banyak sekali paket-paket software CAD menyertakan konsep CFD yang dipakai untuk menganalisa stress yang terjadi pada design yang dibuat. Pemakaian CFD secara umum dipakai untuk memprediksi:

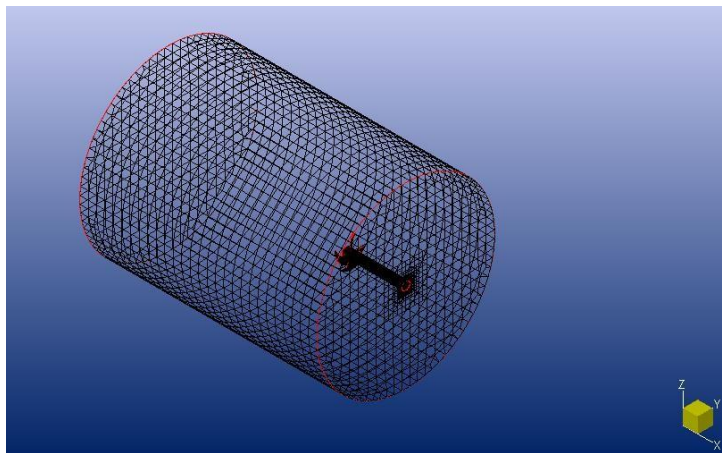
- a. Aliran dan panas.
- b. Transfer massa.

- c. Perubahan fasa seperti pada proses melting, pengembunan dan pendidihan.
- d. Reaksi kimia seperti pembakaran.
- e. Gerakan mekanis seperti piston dan fan.
- f. Tegangan dan tumpuan pada benda solid.
- g. Gelombang electromagnet

Ada beberapa proses yang dilakukan dalam metode Computational Fluid Dynamic (CFD), Adapun proses dalam Computational Fluid Dynamic (CFD) ada 3 bagian, yaitu :

#### 2.4.1. Pre Processor

PreProcessor merupakan tahapan awal dalam Computational Fluid Dynamic (CFD) yang merupakan tahapan input data yang meliputi penentuan domain dan boundary condition. Pada tahapan ini juga dilakukan meshing, dimana benda yang dianalisa dibagi dalam jumlah grid tertentu.



Gambar 2. 17. *Penentuan Boundary Condition dan Meshing*

#### 2.4.2. Processor

Tahap selanjutnya adalah tahap processor, dimana pada tahap ini dilakukan proses perhitungan data yang telah dimasukkan menggunakan persamaan terkait secara iterative hingga hasil yang didapatkan bisa mencapai nilai error terkecil.

#### 2.4.3. Post Processor

Tahap terakhir adalah tahap post processor, hasil dari perhitungan pada tahap processor akan ditampilkan dalam gambar, grafik maupun animasi. Adapun manfaat dari metode Computational Fluid Dynamic (CFD) dibanding dengan metode-metode yang lain untuk menyelesaikan permasalahan permodelan Fluid Dynamic adalah sebagai berikut :

- a. Pengetahuan Mendalam

Dengan analisa CFD kita akan mudah mengetahui dan melihat data-data yang dibutuhkan untuk membuat produk yang efisien, parameter-parameter yang berpengaruh



dan fenomena- fenomena fisika yang terjadi bahkan bisa dibayangkan jauh lebih mendalam dibandingkan dengan prototype.

b. Prediksi Menyeluruh

Dengan simulasi CFD kita dapat mengubah parameter yang ada melihat hasilnya, mengubahnya lagi hingga didapat kondisi yang diinginkan sebelum dibuatnya protipe fisik. Jadi, dalam waktu yang sama kita dapat melakukan test dari model CFD yang kita buat, melihat hasilnya, dan mengubah variabel-variabel yang ada hingga didapatkan hasil yang optimal dan dalam waktu yang singkat.

c. Efisiensi

CFD adalah tools untuk mempersingkat siklus design dan pengembangan dari suatu produk. Sehingga didapatkan design cycle yang singkat, biaya yang murah dan waktu yang singkat yang akan berhubungan dengan efisiensi yang juga akan meningkat.

## 2.5. MODEL PROPELLER WAGENINGEN SERIES C4-40



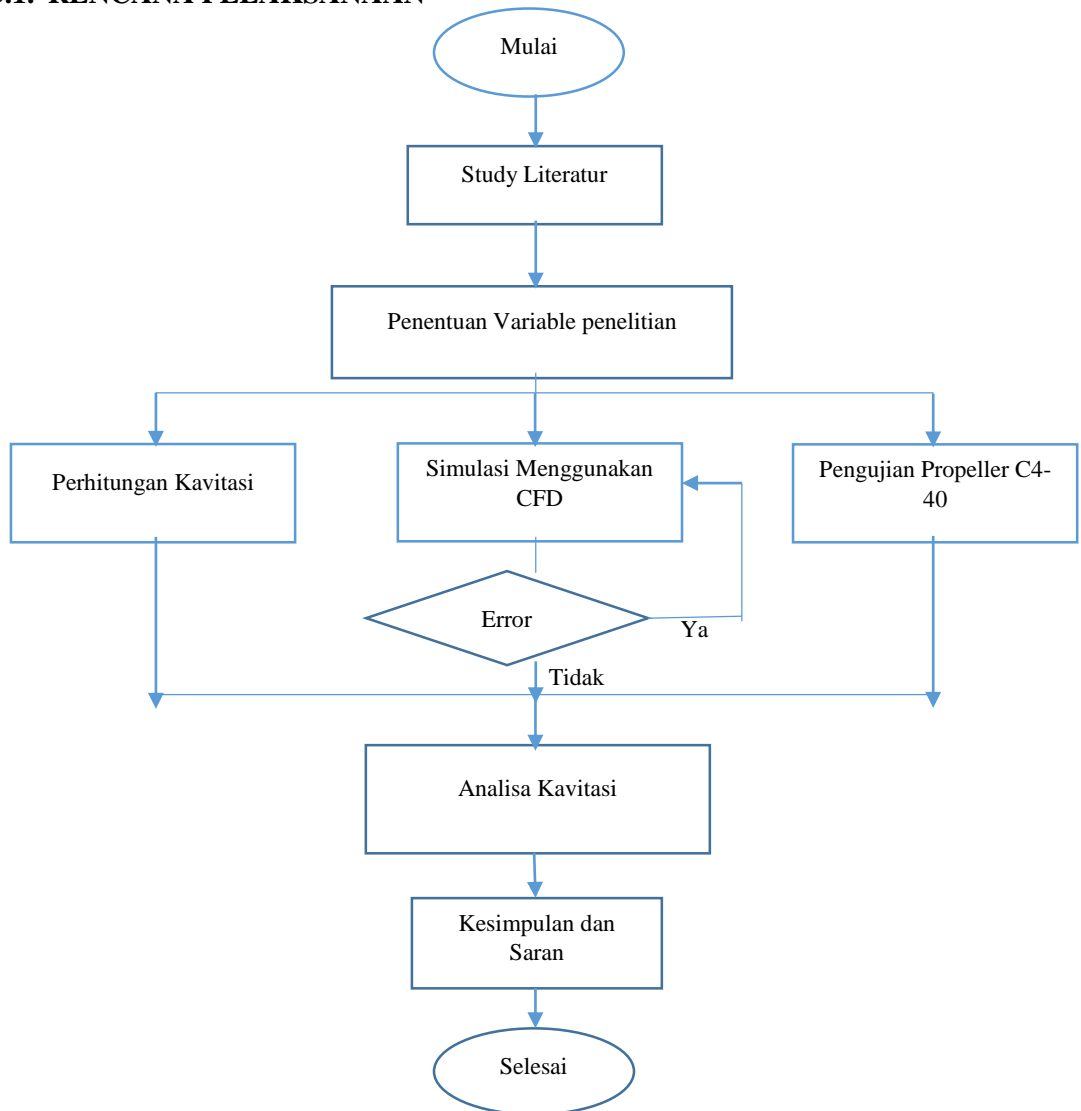
Gambar 2. 18. Model Propeller C4-40 dengan P/D 1.4  
(Suranto,2018)

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini di jelaskan metode yang digunakan dalam tugas akhir agar proses pengerjaan dapat terstruktur dengan baik dan dapat mencapai tujuan yang telah di tetapkan sebelumnya. Proses pengerjaan terdiri dari beberapa tahap yaitu studi literatur, penentuan variable penelitian, perhitungan, simulasi CFD, pengujian propeller, analisa dan penarikan kesimpulan. Tahapan tersebut direpresentasikan dengan diagram alur seperti gambar 3.1

### 3.1. RENCANA PELAKSANAAN



Gambar 3. 1 Alur Pengerjaan Tugas akhir

### 3.2. Study Literatur

Studi literatur dilakukan guna lebih memahami permasalahan yang ada. Studi literature dilakukan dengan mengumpulkan dan mempelajari referensi-referensi yang berasal dari buku, jurnal, internet, wawancara serta diskusi, sedangkan untuk pengumpulan data di peroleh dari sumber : marin.nl. Selain dari sumber-sumber di atas, studi literatur dapat diperoleh dengan melakukan tanya jawab dengan pihak-pihak yang berkepentingan dan berkompeten pada bahasan skripsi ini. Bahasan yang akan dibahas pada studi literatur ini meliputi pembahasan tentang :

- a. Propeller
- b. Kavitas Propeller

### 3.3. Penentuan Variable Penelitian

Pada tahap ini di lakukan pengumpulan data yang diperlukan untuk mempermudah dalam perencanaan experiment. Data yang di perlukan adalah :

Diameter	= 316,6 mm
Shaft diameter	= 80 mm
Model Pitch/diameter	= 1,4
Expanded Area Ratio	= 0,40
Number of Blades	= 4

### 3.4. Perhitungan Kavitas

Berdasarkan Sv.Aa.Harvald (Tahanan dan Propulsi Kapal ) tahun 1983 untuk menghitung number cavitation di gunakan rumus berikut :

$$\sigma = \frac{p_0 - p_v}{\frac{1}{2} \rho v^2}$$

dimana  $P_0$  adalah tekanan kedalaman di tambah dengan tekanan atmosfer yaitu:

$$\sigma = \frac{(p_{atm} + p_h) - p_v}{\frac{1}{2} \rho v^2}$$

dimana :

$p_{atm}$	= tekanan atmosfer
$p_h$	=tekanan kedalaman propeller
$p_v$	=tekanan vapor
$\rho$	=massa jenis air laut
$v$	=kecepatan pada 0,7R

dengan :

$p_{atm}$	=101325 Pa
$p_h$	= $\rho g h$
$\rho$	=1025 kg/m <sup>3</sup>

$$\begin{aligned} g &= 9,807 \text{ m/s}^2 \\ h &= 0,7 \text{ m} \end{aligned}$$

(Ref ITTC hal 8)

$$\begin{aligned} p_v &= 1670 \text{ Pa} \\ v &= 8,3118 \text{ m/s} \end{aligned}$$

(Ref ASHRAE table A-9)

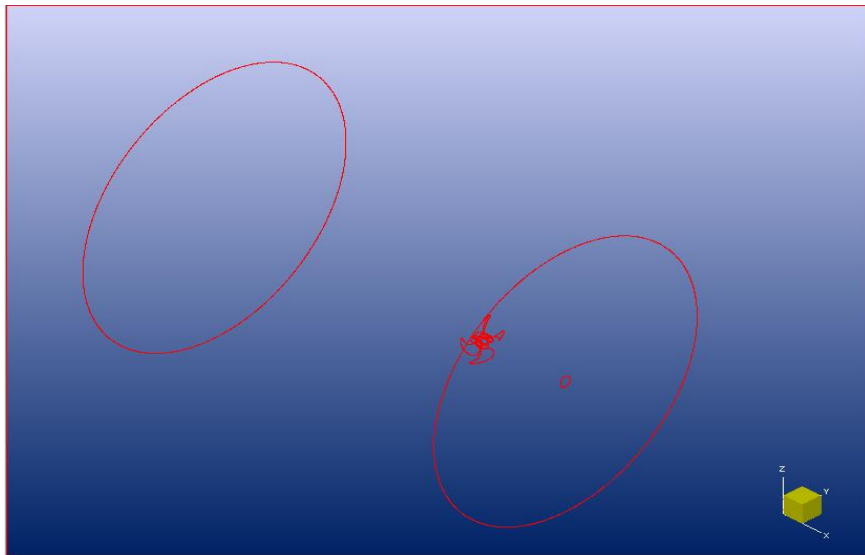
$$\text{Vapor Viscos} = 0,0000095921 \text{ Pa s}$$

### 3.5. Simulasi CFD

Pengujian model atau running. Pengujian model akan dilakukan dengan menggunakan 100,300,600,1500,2000,2500 rpm. Model akan di running dengan parameter tersebut dengan variasi pitch. Pengujian terhadap model ini bertujuan untuk mengetahui kavitasi pada propeller akibat adanya variasi-variasi yang diberikan. Berikut adalah langkah dalam simulasi model :

#### a. Penentuan Batasan Model

Penentuan batasan merupakan salah satu persyaratan agar geometri model yang sudah dibuat dapat disimulasikan pada software CFD. Penentuan batasan ini meliputi mendefinisikan geometri untuk inlet, wall serta outlet. Pendefinisian geometri batasan tersebut diperuntukkan sebagai domain fluida air yang akan mengalir dengan ukuran diameter tabung 6 kali diameter propeller dan panjang tabung 8 kali diameter propeller.

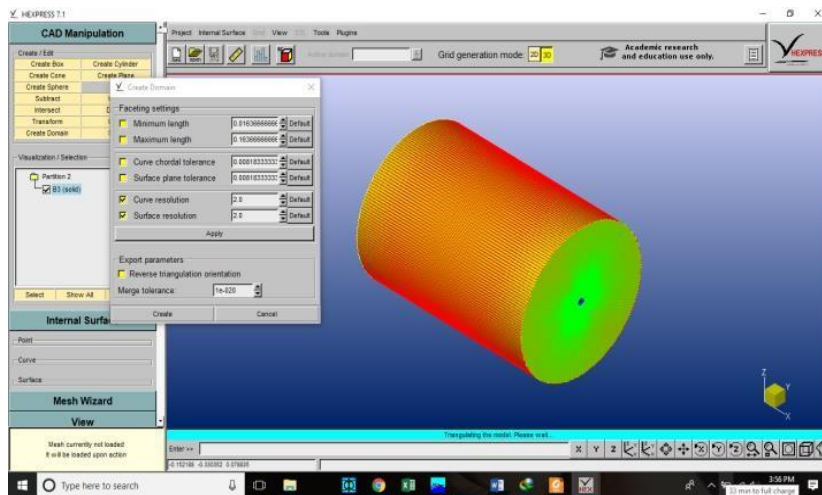


Gambar 3. 2. Ukuran domain

#### b. Meshing

Meshing merupakan suatu proses pembagian geometri model menjadi elemen-elemen dan node-node yang lebih kecil. Pada proses pengujian model dengan software CFD, setiap elemen-elemen tersebut yang akan diberikan perhitungan oleh software CFD. Besar meshing pada propeller lebih kecil / detail dari pada domain yang lain,

sehingga didapatkan hasil yang lebih bagus. Dalam NUMECA Hexpress, adanya domain yang memiliki standar boundary agar hasil analisa bisa sesuai dengan keadaan lingkungan sebenarnya.

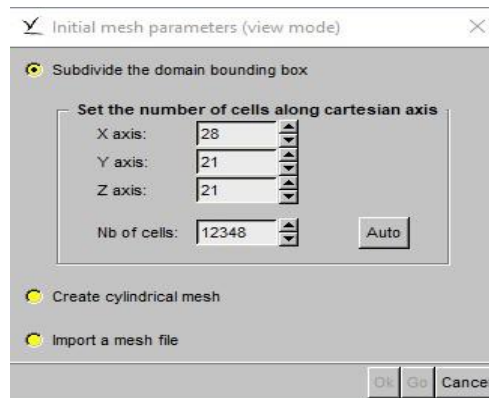


Gambar 3. 3. Domain

Setelah membuat domain, proses meshing dapat dilakukan dengan urutan dalam proses meshing adalah sebagai berikut:

#### 1. *Intial Mesh*

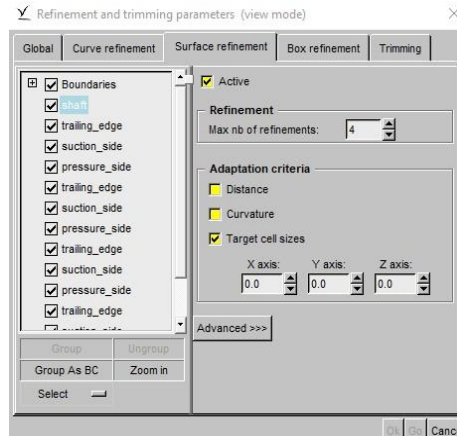
Dalam Initial Mesh, dilakukan pembagian geometri seluruh domain. Domain dibagi menjadi cell berbentuk kotak sesuai dengan domain yang didefinisikan.



Gambar 3. 4. *Initial Mesh*

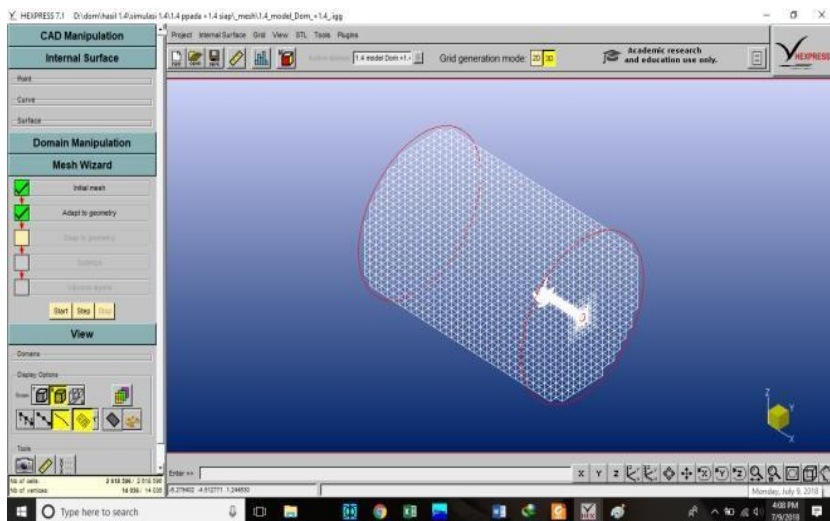
#### 2. *Adapt to Geometry*

Untuk parameter dari *adapt to geometry* yaitu:



Gambar 3.5 *Adapt to Geometry*

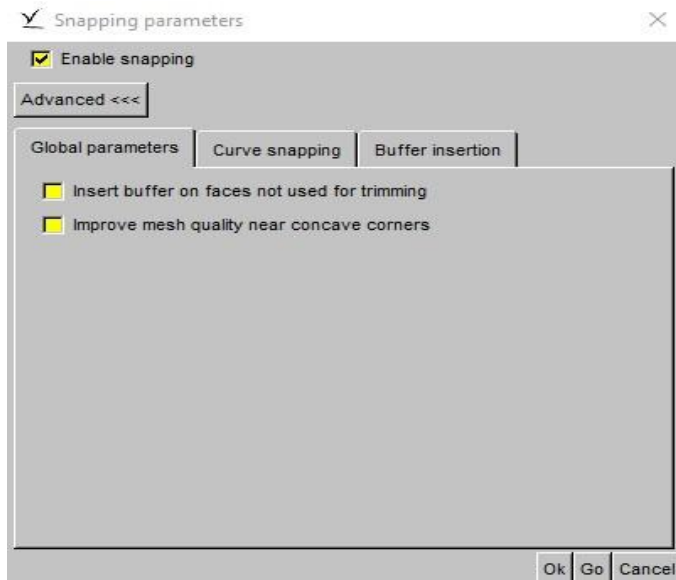
Dalam *Adapt to Geometry*, dilakukan *Refinement* terhadap cell-cell yang telah terbagi sesuai dengan bentuk geometri. Selain penghalusan, *Trimming* juga dilakukan yaitu menghapus terhadap cell-cell yang saling menyilang atau yang berlokasi diluar geometri.



Gambar 3.6. Hasil *Adapt to geometri*

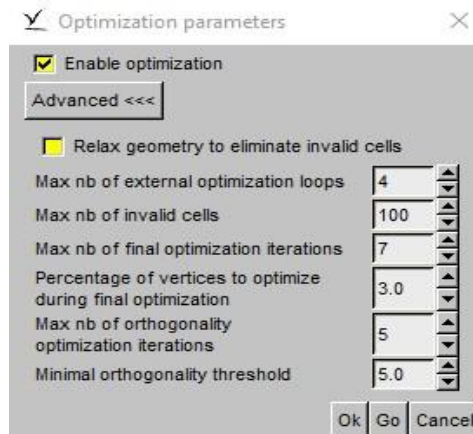
### 3. *Snap to Geometry*

Tujuan dari langkah otomatis ini yaitu untuk memproyeksikan mesh yang didapat dari hasil sebelumnya terhadap bentuk geometri sehingga menghasilkan bentuk geometri yang halus.

Gambar 3. 7. *Snap to Geometry*

#### 4. *Optimize*

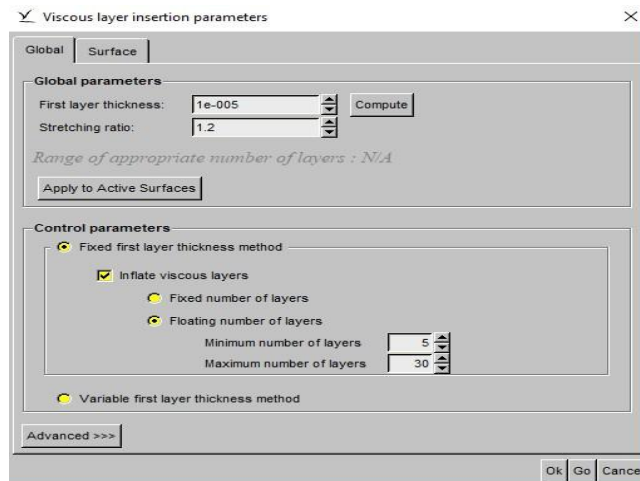
Dalam Optimize dilakukan optimisasi terhadap hasil mesh yang memiliki kualitas buruk seperti *concave cells*, *negative cells*, *twisted cells* Untuk mengetahui kualitas dari cell dapat dilihat dengan menu *mesh quality*.

Gambar 3. 8. *Optimize*

#### 5. *Viscous Layers*

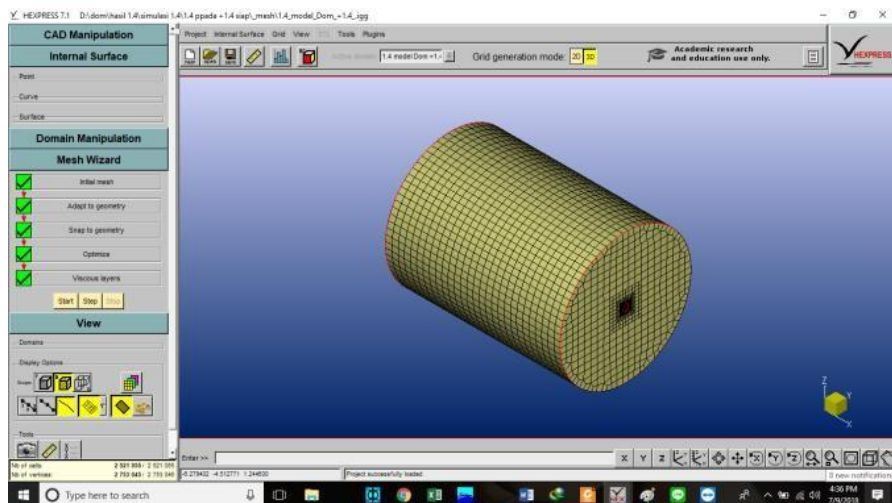
Untuk parameter dari Viscous Layers yaitu :





Gambar 3. 9. Viscous Layers

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



Gambar 3. 10. Hasil Meshing

### c. Simulasi atau running

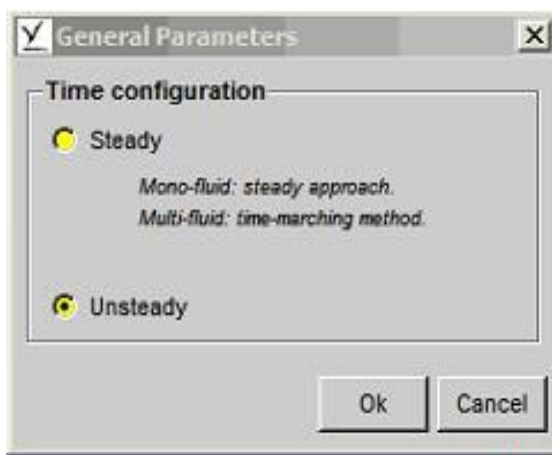
Geometri model yang telah selesai diberikan selanjutnya dapat dilakukan proses simulasi atau running dengan menggunakan metode Computational Fluid Dynamic (CFD). Proses simulasi ini menggunakan software CFX-solver, untuk melihat hasilnya. Dengan parameter yang sudah ditentukan seperti berikut:

#### Parameter

Parameter merupakan suatu batasan atau nilai yang dimasukkan dalam sebuah method. Berikut adalah parameter yang terdapat pada NUMECA Fine Marine:

### 1. *General Parameter*

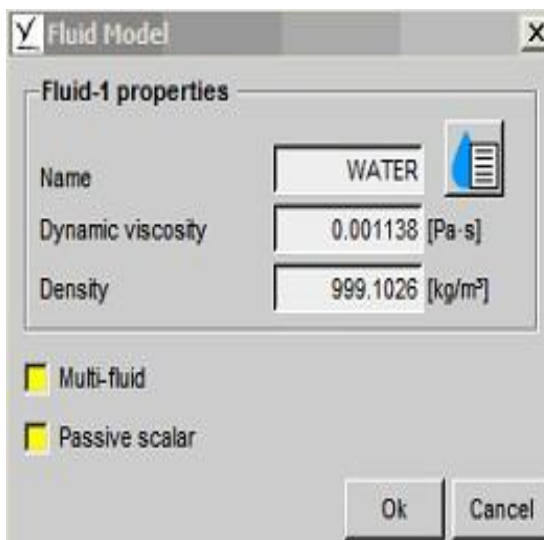
Dalam parameter umum ini mengenai konfigurasi waktu pada hasil simulasi saat time step yang ditentukan. terdapat 2 pilihan yaitu *Steady* dan *Unsteady*. *Steady* digunakan apabila ingin mendapatkan hasil running pada saat time step terakhir dan *Unsteady* digunakan apabila ingin mendapatkan hasil simulasi pada saat time step tertentu. Dalam penelitian ini menggunakan unsteady.



Gambar 3. 11 General Parameter

### 2. *Fluid Model*

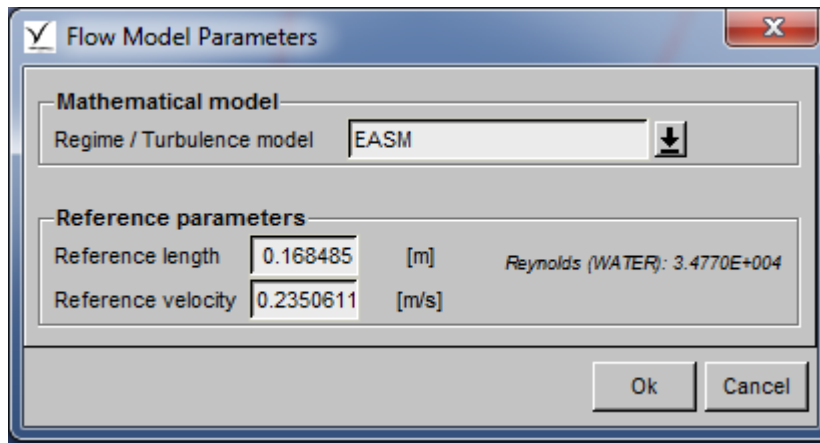
Dalam konfigurasi *Fluid Model* ini merupakan definisi fluida yang digunakan. Pada penelitian ini menggunakan fluida air.



Gambar 3. 12 *Fluid Model*

### 3. Flow Model

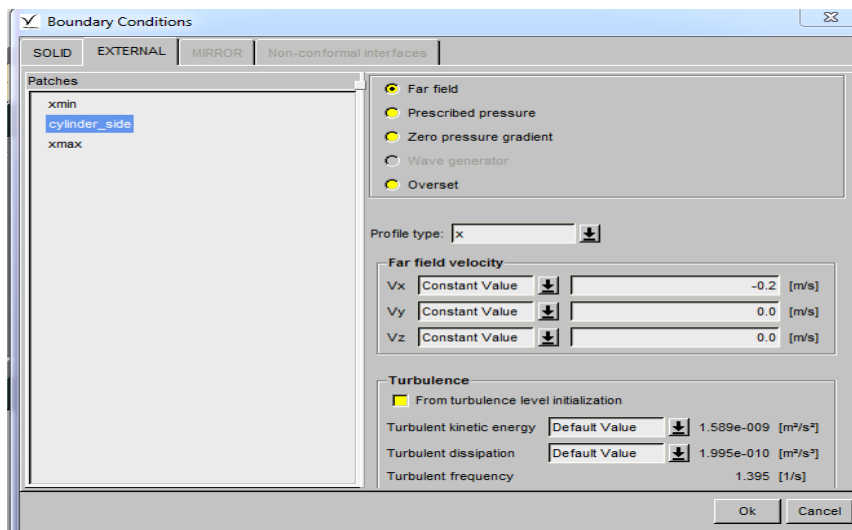
Dalam konfigurasi *Flow Model* ini merupakan definisi untuk menentukan karakteristik dari aliran yang akan digunakan. terdapat dua pilihan yaitu laminar dan aliran turbulen serta intensitas dari gravitasi. Pada bagian Reference parameters untuk mendefinisikan perhitungan dari Froude number dan Reynolds number yang tertuju pada pengaturan *Fluid Model*.



Gambar 3. 13. *Flow Model*

### 4. Boundary Condition

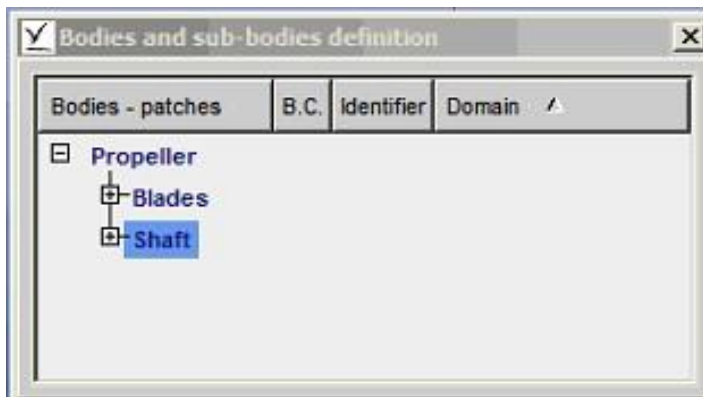
Boundary Condition merupakan pendefinisian dari kondisi batasan-batasan yang akan disimulasikan. Pada konfigurasi kondisi solid yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan mendefinisikan propeller sebagai wall-fuction, sedangkan shaft sebagai slip. Sedangkan pada keadaan external inlet dan cylinde dimasukkan harga velocity advance pada sumbu x sedangkan pada output di buat prescribed pressure.



Gambar 3. 14. *Boundary Condition*

### 5. *Body definition*

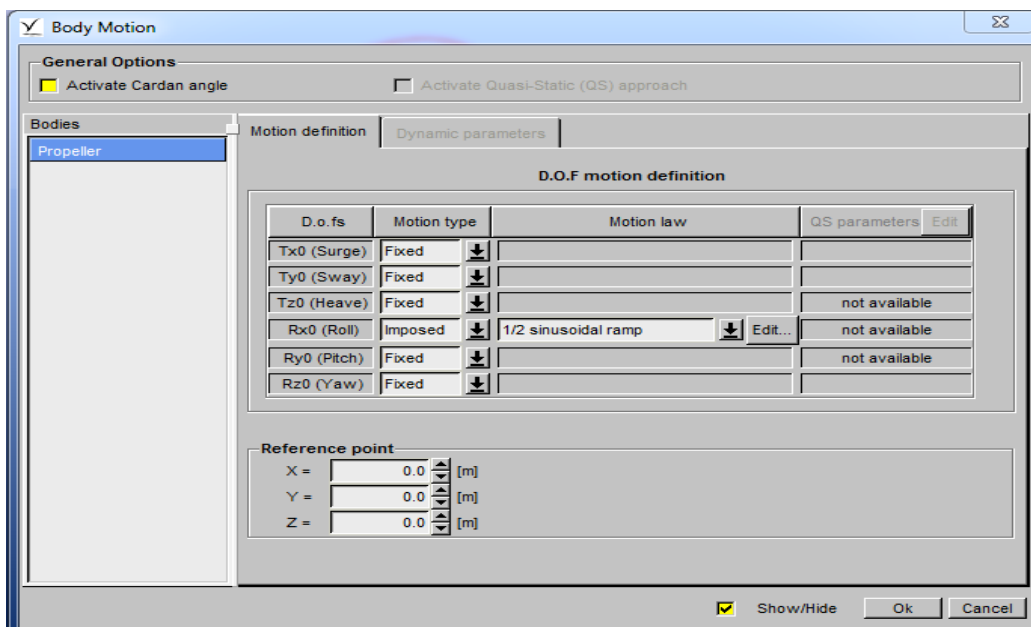
Body Definition dilakukan untuk menentukan bagian-bagian yang akan dijadikan sebuah badan yang akan diuji. Pada konfigurasi ini dalam satu grup dan di bagi 2 sub blade dan shaft.



Gambar 3. 15. *Body definition*

### 6. *Body Motion*

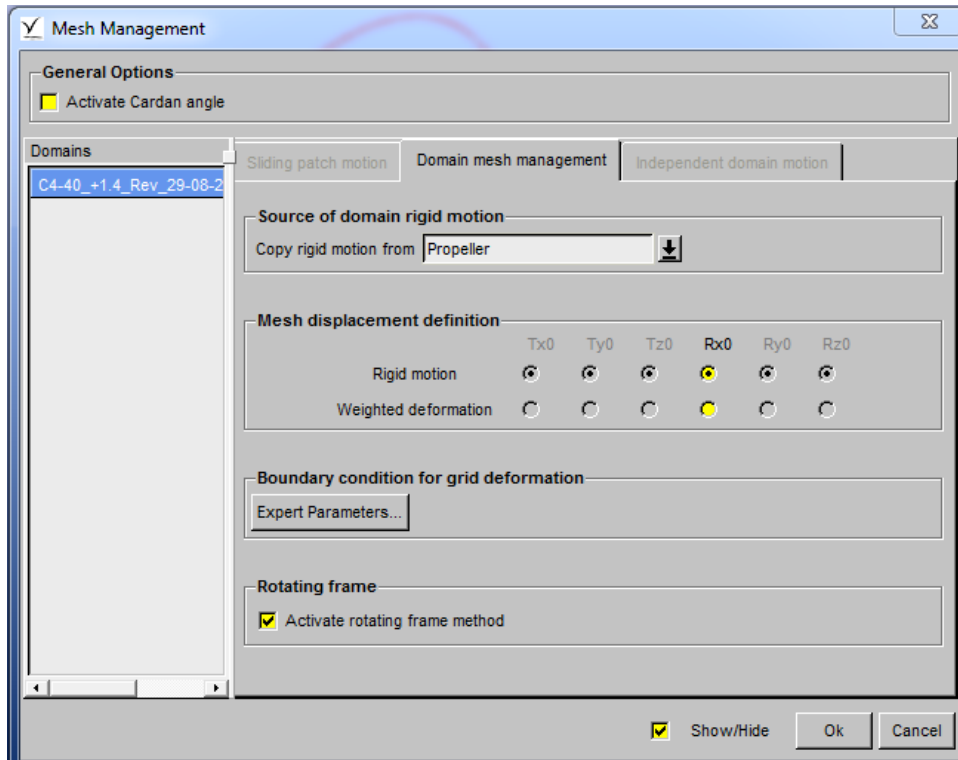
Body motion merupakan bagian yang menentukan gerak dari benda yang akan di uji. Propeller tersebut di putar dengan kecepatan 100,300,600 rpm.



Gambar 3. 16. *Body Motion*

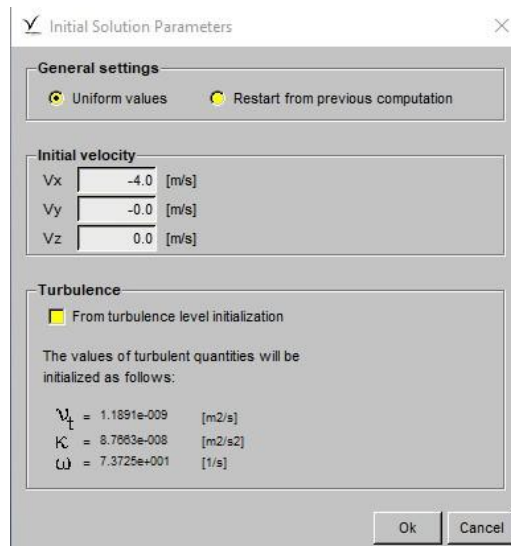
### 7. *Mesh Management*

Mesh Management merupakan bagian yang menentukan untuk di putar atau di rotation. Dalam penelitian ini menggunakan sumbu x.

Gambar 3. 17. *Mesh Management*

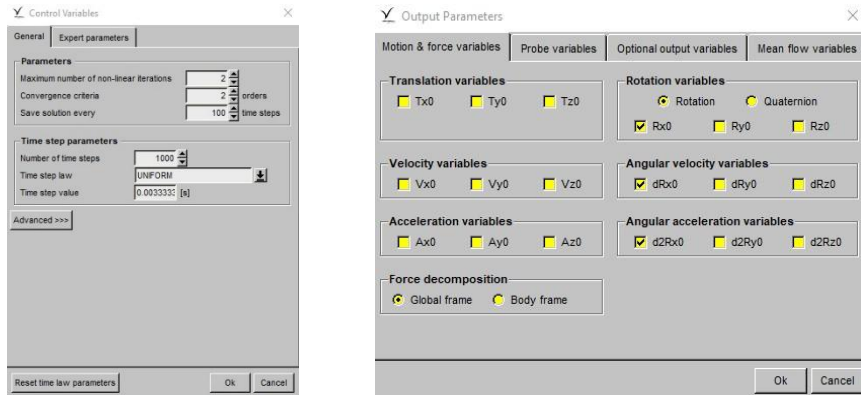
### 8. *Initial Solution*

Initial Solution merupakan besarnya suatu kecepatan aliran pada sumbu putar. Dalam penelitian ini aliran yang digunakan pada sumbu x.

Gambar 3. 18. *Initial Solution*

### 9. Computational Control Variables dan Output

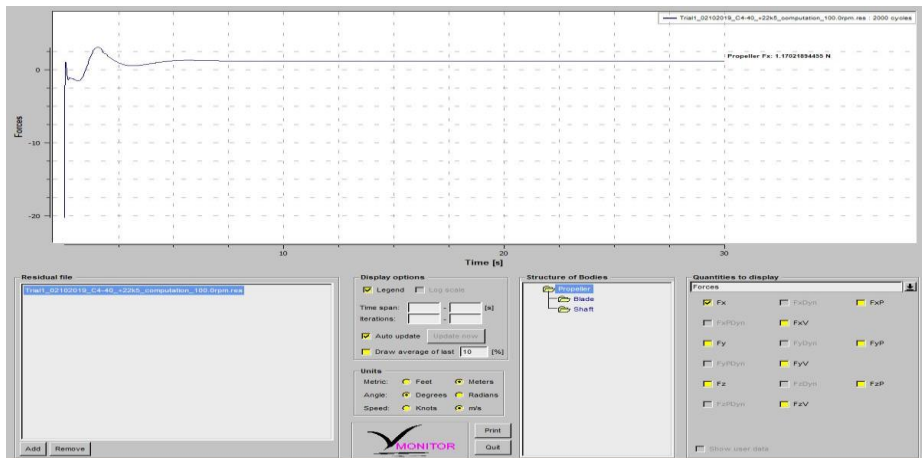
Control Variable merupakan konfigurasi untuk menentukan perhitungan literasi dan jumlah *Time step* yaitu periode gerakan kapal yang digunakan. Output untuk menentukan variabel hasil yang didapat dari simulasi. Setelah parameter-parameter sudah ditentukan maka simulasi dapat dijalankan dengan mengaktifkan tombol *solver running*.



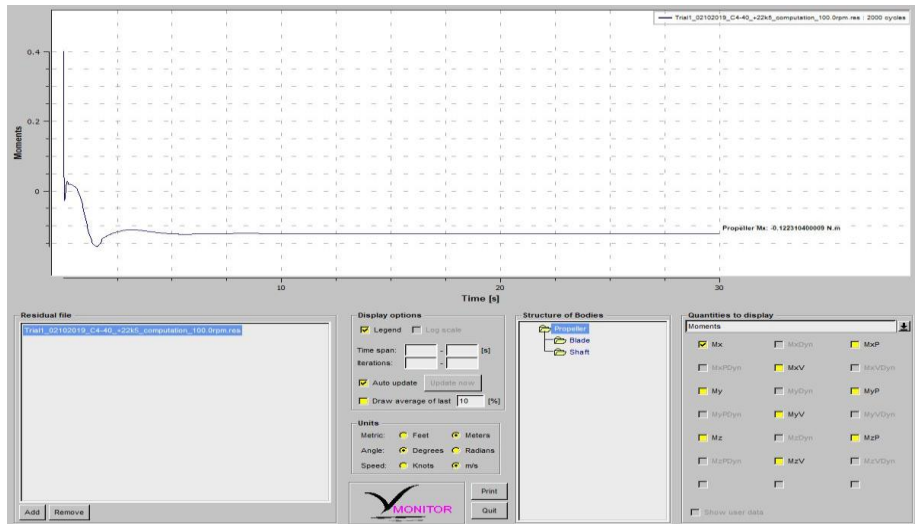
Gambar 3. 19. Computational Control Variables dan Output

### 10. Hasil Simulasi

Proses selanjutnya setelah selesai running simulasi, maka data hasil simulasi dapat diperoleh dengan membaca grafik pada Monitor. Pada penelitian ini, data yang diambil berupa Thrust, Moment dan cavitation dalam CFview yaitu merupakan bagian yang terjadi terhadap sumbu x sehingga dalam grafik terbaca sebagai (Fx).

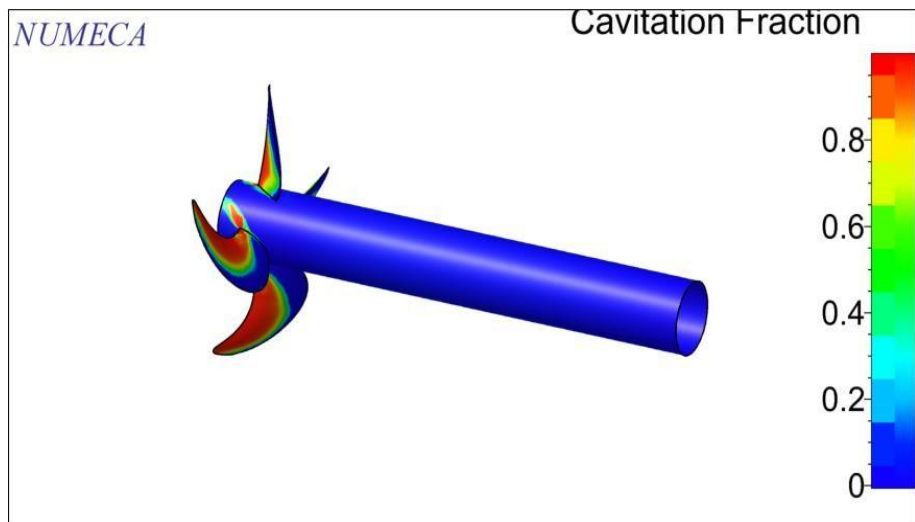


Gambar 3. 20. Hasil force



Gambar 3. 21. Hasil moment

Untuk pembacaan data dan visual dari hasil simulasi CFD menggunakan CFView dalam tahapan ini , data yang diambil yaitu Cavitation raction.



Gambar 3. 22. Hasil cavitation fraction CFview

## 11. Validasi

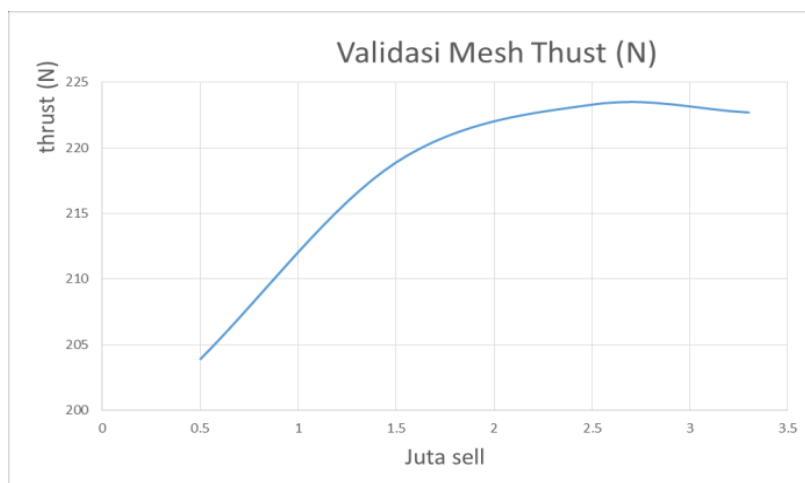
Validasi harus dilakukan terhadap hasil analisa yang telah di lakukan, pada simulasi dilakukan dengan cara tidak mengaktifkan kavitasi agar thrust dan moment sesuai data yang sudah pernah dilakukan. Hal ini di lakukan untuk memastikan data yang di dihasilkan memiliki keakuratan yang baik. Validasi terhadap elemen yang yang paling efektif agar data yang di dihasilkan valid, pengujian di lakukan menggunakan software CFD Fine Marine sehingga dilakukan validasi sebagai berikut:

### 1. Validasi Meshing

Berikut adalah validasi meshing pada masing-masing jumlah cell untuk menentukan pada cell yang akan di gunakan, dapat dilihat pada tabel 3.1 dan gambar 3.23

Tabel 3. 1 *Validasi meshing*

Validasi Mesh pada Thrust Model P/D 1.4		
Cell juta	J	T (N)
0,5	1	203,9
1,5	1	218,9
2,5	1	223,3
3,3	1	222,7



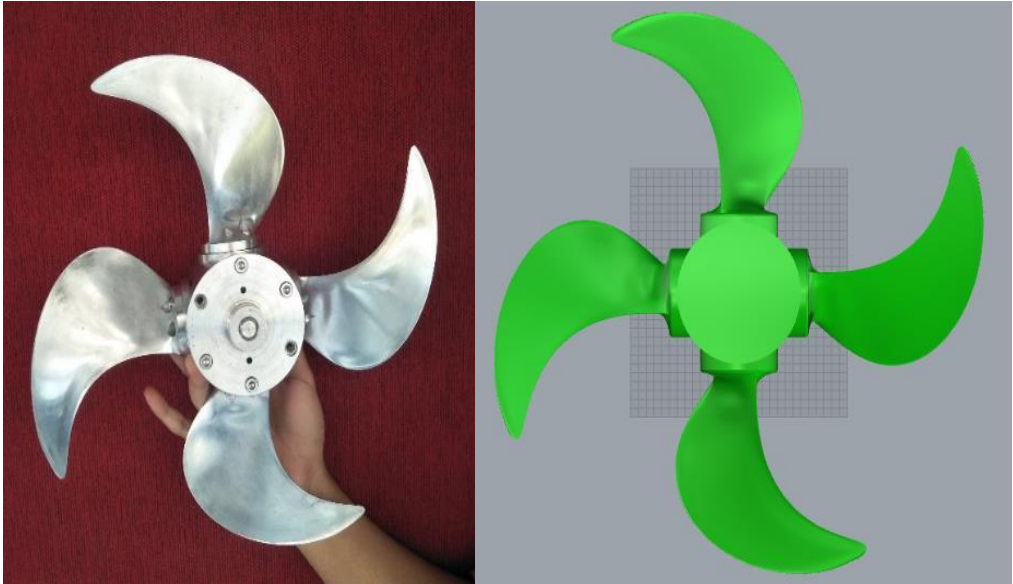
Gambar 3. 23. *Validasi meshing*

Dari tabel 1 dan grafik 1 di atas pada cell 2,5 juta hasil thrust mengalami kenaikan dari cell 1,5 juta sedangkan pada cell 3,3 juta thrust mengalami penurunan. Untuk hasil thrust yang akan mulai datar pada cell 2,5 juta, sehingga pada meshingan tersebut digunakan 2,5 juta cell.



### 3.6. Pengujian Model

Pada pengujian model propeller C4-40 akan dilakukan di lab mms



Gambar 3. 24 Propeller Wageningen C4-40 yang telah di buat



Gambar 3. 25 motor listrik mms



Gambar 3. 26 Tempat untuk pemasangan propeller



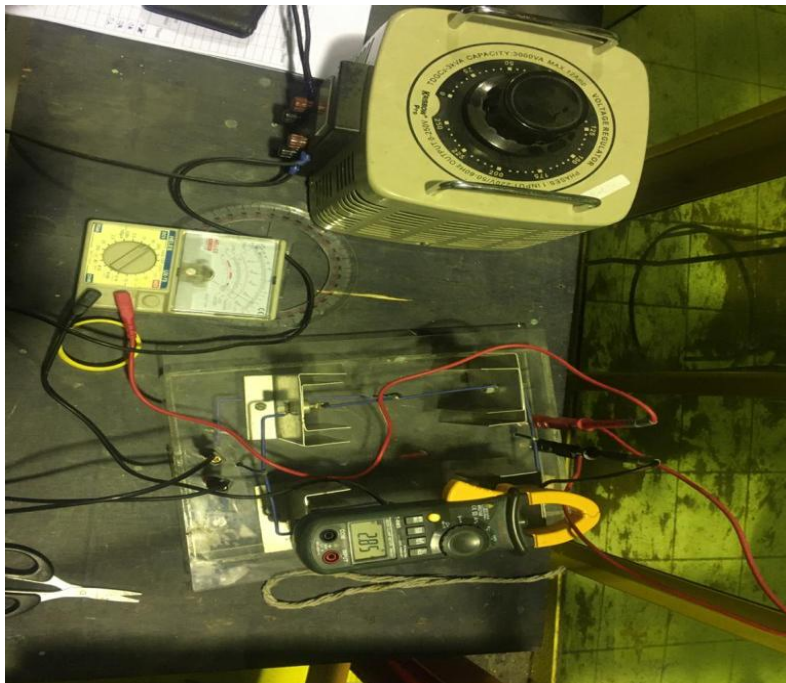
Gambar 3. 27 Kolam tempat pengujian



Gambar 3. 28. Kamera high speed



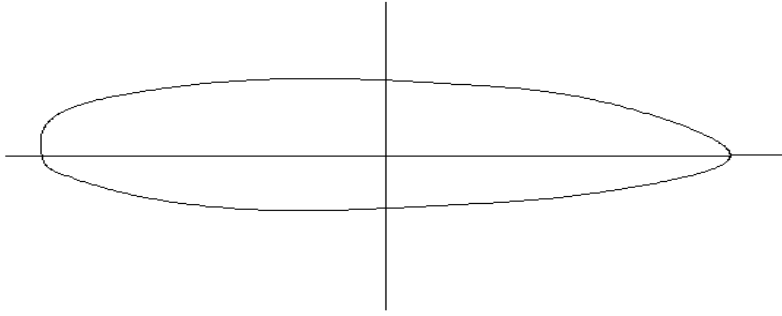
Gambar 3. 29. Dial Indikator



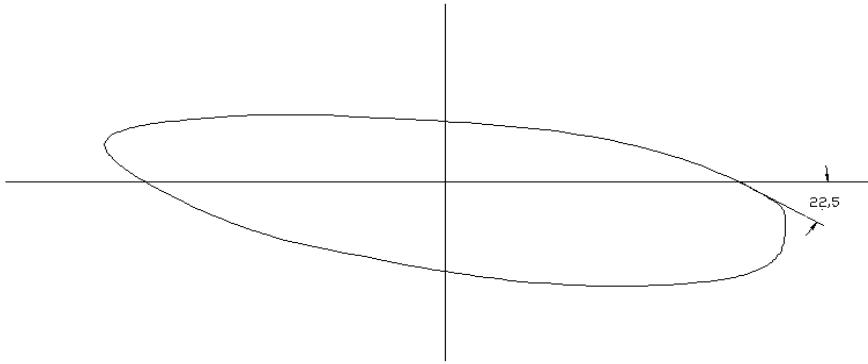
Gambar 3. 30. Regulator ,tang meter,volt meter



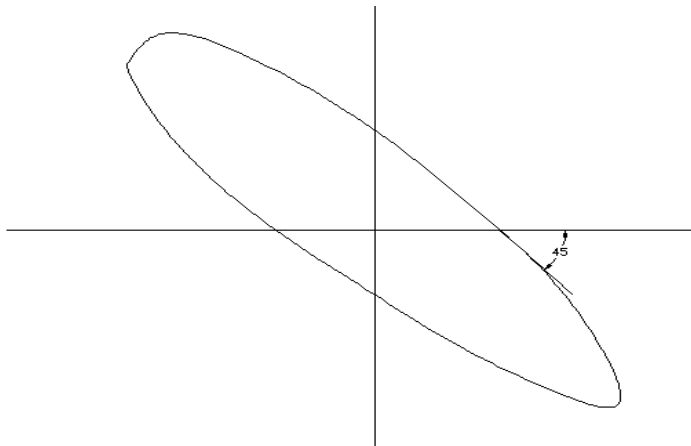
Gambar 3. 31. Tacho meter



*Gambar 3. 32. Sketsa pitch angle  $0^\circ$*



*Gambar 3. 33. Sketsa pitch angle  $22,5^\circ$*



*Gambar 3. 34. Sketsa pitch angle  $45^\circ$*

## Data hasil uji Coba Putaran Motor (Tanpa Beban)

Tabel 3. 2. Hasil percobaan tanpa beban

no	Input Kecepatan (%)	Output Putaran		
		RPM	Volt	Ampere
1	10	65	5	0,20
2	20	267	15	0,40
3	30	455	24	0,45
4	40	677	34	0,58
5	50	830	41	0,60
6	60	1050	60	0,73
7	70	1250	70	0,75
8	80	1440	80	0,75
9	90	1620	80	0,75
10	100	1780	95	0,67

Data hasil percobaan C4-40 *pitch angle* 0°Tabel 3. 3 Hasil percobaan propeller c4-40 *pitch angle* 0°

No.	Input Kecepatan motor (volt)	Output C4-40 untuk Pitch 0°			
		Putaran (Rpm)	Arus Listrik (Ampere)	Tegangan (Volt)	Thrust (kg)
1.	10	40	1,15	10	0,00
2.	20	112	1,80	20	0,50
3.	30	186	2,60	29	1,50
4.	40	236	3,50	36	1,80
5.	50	280	4,60	44	2,00
6.	60	375	5,40	55	2,60
7.	70	350	5,60	56	2,80
8.	80	420	6,80	60	3,00

Data hasil percobaan C4-40 *pitch angle* 22,5°Tabel 3. 4 Hasil percobaan propeller c4-40 *pitch angle* 22,5°

No.	Input Kecepatan motor (volt)	Output C4-40 untuk Pitch 22.5°			
		Putaran (Rpm)	Arus Listrik (Ampere)	Tegangan (Volt)	Thrust (kg)
1.	10	50	1,10	11	0,00
2.	20	140	1,32	18	0,00
3.	30	220	1,73	28	0,00
4.	40	247	2,25	41	0,00
5.	50	360	2,80	44	0,00
6.	60	400	3,20	52	0,30
7.	70	480	3,90	57	1,50
8.	80	560	4,60	60	1,50

Data hasil percobaan C4-40 *pitch angle* 45<sup>0</sup>

Tabel 3. 5 Hasil percobaan propeller c4-40 *pitch angle* 45<sup>0</sup>

No.	Input Kecepatan motor (volt)	Output C4-40 untuk Pitch 45 <sup>o</sup>			
		Putaran (Rpm)	Arus Listrik (Ampere)	Tegangan (Volt)	Thrust (kg)
1.	10	57	1,27	10	1,30
2.	20	117	2,04	19	1,50
3.	30	163	3,01	33	2,60
4.	40	206	4,04	40	3,50
5.	50	243	5,20	43	5,50
6.	60	270	6,28	52	6,30
7.	70	296	7,15	55	7,55
8.	80	323	8,28	58	9,50

### 3.7. Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini kesimpulan di buat berdasarkan hasil dari perhitungan, simulasi CFD serta experiment dan saran di buat sebagai tolak ukur.

“Halaman ini sengaja di kosongkan”



## BAB IV ANALISA dan PEMBAHASAN

### 4.1 Pendahuluan

Pada bab ini di paparkan hasil dan pembahasan tentang kavitasi C4-40. Analisa ini menggunakan software Fine marine untuk menghasilkan nilai Thrust dan nilai Torque. Serta di tambahkan gambar dari hasil experiment sebagai media pendukung. Dalam penguatan analisa ini di asumsikan bahwa alirannya bersifat *Uniform*. Berikut ditunjukkan hasil dari perhitungan performa thrust dan torque yang di tunjukkan oleh sub bab 4.2 di bawah ini

### 4.2 Performa Propeller C4-40

Untuk mengetahui thrust dan torque propeller C4-40 maka di lakukan open water test dengan aplikasi numeca fine marine. setelah di lakukan computational fluid dynamic, maka di hasilkan data yang dapat dilihat pada tabel 4.1 dan gambar 4.1 :

Tabel 4. 1. Performa Propeller C4-40 *Pitch Angle* 0°

VARIASI				Hasil Analisa (0°)				
RPM	RPS	VA	J	T(N)	Q(Nm)	$\eta_o$	KT	10KQ
100	1,67	0,20	0,38	7,4	0,3	0,48	0,26	0,33
300	5,00	0,20	0,13	34,6	2,3	0,09	0,13	0,29
600	10,0	0,20	0,06	43,2	1,8	0,08	0,04	0,06
1500	25,0	4,75	0,60	16919,2	237,6	2,15	0,11	1,17
2000	33,3	6,33	0,60	148018,7	33646,7	1,33	0,12	2,94
2500	41,6	7,92	0,60	2473123,2	594279,5	1,26	1,08	11,82



Gambar 4. 1. Kavitasi C4-40 *Pitch Angle* 0°

Dari gambar 4.1 dan tabel 4.1 pada *Pitch Angle*  $0^{\circ}$  dapat dilihat bahwa dengan variasi rpm terdapat kenaikan thrust dan torque kecuali pada rpm 600 torque menurun dari 2,37 menjadi 1,82 di rpm 1500, pada *Pitch Angle*  $0^{\circ}$  untuk efisiensi paling tinggi di rpm 1500 dengan nilai 2,15.

Tabel 4. 2. Performa Propeller C4-40 *Pitch Angle*  $22,5^{\circ}$

VARIASI				Hasil Analisa ( $22,5^{\circ}$ )				
RPM	RPS	VA	J	T(N)	Q(Nm)	$\eta_o$	KT	10KQ
100	1,67	0,20	0,38	1,1	0,1	0,18	0,04	0,13
300	5,00	0,20	0,13	37,1	1,3	0,17	0,14	0,17
600	10,0	0,20	0,06	169,2	5,4	0,10	0,16	0,17
1500	25,0	4,75	0,60	455,6	11,7	1,17	0,07	0,06
2000	33,3	6,33	0,60	350,8	11,3	0,93	0,03	0,03
2500	41,6	7,92	0,60	105283,4	8355,8	0,38	0,59	0,47



Gambar 4. 2 Kavitas C4-40 *Pitch Angle*  $22,5^{\circ}$

Dari gambar 4.2 dan tabel 4.2 pada *Pitch Angle*  $22,5^{\circ}$  dapat dilihat bahwa dengan variasi rpm terdapat kenaikan thrust dan torque .tetapi untuk thrust dan torque terjadi penurunan di rpm 2000 dengan thrust sebesar 350,808 dan torque sebesar 11,35 pada *Pitch Angle*  $22,5^{\circ}$  untuk efisiensi paling tinggi di rpm 2500 dengan nilai 1,17.

Tabel 4. 3. Performa Propeller C4-40 *Pitch Angle* 45°

VARIASI				Hasil Analisa (45°)				
RPM	RPS	VA	J	T(N)	Q(Nm)	$\eta_o$	KT	10KQ
100	1,67	0,20	0,38	15,1	1,0	0,28	0,53	1,14
300	5,00	0,20	0,13	154,6	10,4	0,09	0,60	1,28
600	10,0	0,20	0,06	627,4	42,2	0,05	0,61	1,29
1500	25,0	4,75	0,60	3060,2	206,4	0,45	0,47	1,01
2000	33,3	6,33	0,60	42265,5	2552,6	0,50	0,64	7,04
2500	41,6	7,92	0,60	2295567,4	125664,1	0,55	0,94	8,86

Gambar 4. 3 Kavitasasi C4-40 *Pitch Angle* 45°

Dari gambar 4.3 dan tabel 4.3 pada *Pitch Angle* 45° dapat dilihat bahwa dengan variasi rpm terdapat kenaikan thrust dan torque. pada *Pitch Angle* 45° untuk efisiensi paling tinggi di rpm 2500 dengan nilai 0,55. Berikut ditunjukkan hasil dari perhitungan kavitasasi C4-40 yang di tunjukkan oleh sub bab 4.3 di bawah ini.

#### 4.3 Kavitasasi C4-40 - Perhitungan

Berdasarkan Harvald (1983) Untuk mengetahui kavitasasi propeller C4-40 maka di lakukan perhitungan untuk mengetahui nilai TC dan nilai  $\bar{C}$ , maka di dihasilkan data yang tertera tabel 4.5 dan 4.6 berikut :

Tabel 4. 4. Kavitasasi C4-40 – Perhitungan Variasi model pengujian

VARIASI			
RPM	RPS	VA	J
100	1,67	0,20	0,38
300	5,00	0,20	0,13
600	10,0	0,20	0,06
1500	25,0	4,75	0,6
2000	33,3	6,33	0,60
2500	41,6	7,92	0,60

Pada tabel 4.4 diatas menunjukkan bahwa penelitian ini dilakukan variasi pengujian. berdasarkan tabel 4.4 dapat di ketahui bahwa pada variasi RPM 100, 300, 600 memiliki variasi Va tetap dengan nilai J yang berubah. Sedangkan pada variasi RPM 1500, 2000, 2500 memiliki nilai variasi J tetap dengan nilai variasi Va berubah.

Tabel 4. 5. Kavitasasi C4-40 - perhitungan untuk mengetahui nilai TC

n(rpm)	va(m/s)	vr	T(N)		
			0	22,5	45
100	0,20	1,3851	7,4	1,1	15,1
300	0,20	12,1464	34,6	37,4	154,6
600	0,20	48,4658	43,2	169,2	627,4
1500	4,75	325,2145	16919,2	455,6	3060,2
2000	6,33	578,1591	148018,7	350,8	42265,5
2500	7,92	903,3736	2473123,2	105283,4	2295567,4

Berdasarkan tabel 4.5 dapat di ketahui bahwa nilai thrust (T) semakin meningkat seiring bertambahnya RPM Disisi lain, nilai thrust (T) juga semakin meningkat seiring bertambah besar *pitch angle* .

Tabel 4. 6. Kavitasasi C4-40 – perhitungan untuk menunjukkan kavitasasi

n(rpm)	Tc			σ		
	0	22,5	45	0	22,5	45
100	0,45	0,07	0,93	150,4	150,4	150,4
300	0,24	0,25	1,08	17,1	17,1	17,1
600	0,07	0,29	1,10	4,3	4,3	4,3
1500	4,42	0,11	0,80	0,6	0,6	0,6
2000	217,88	0,05	6,22	0,3	0,3	0,3
2500	2329,91	99,18	216,26	0,2	0,2	0,2

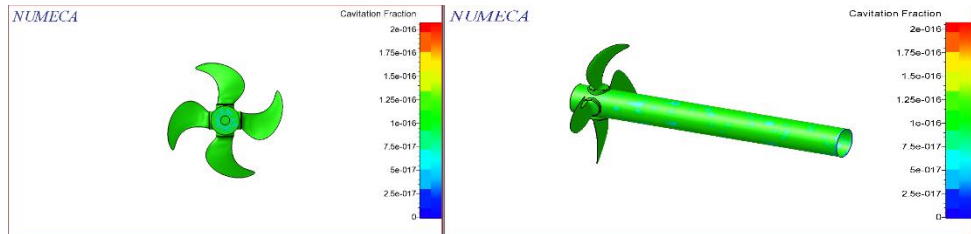
Berdasarkan 4.6 di ketahui bahwa semakin besar nilai RPM maka akan semakin besar pula nilai kavitasasinya. Sebagai catatan, bahwa propeller di anggap kavitasasi ketika nilai tc lebih besar dari nilai tho. Pada tabel 4.6 yang berwarna kuning terjadi kavitasasi.

#### 4.4 Kavitas C4-40 – Simulasi CFD

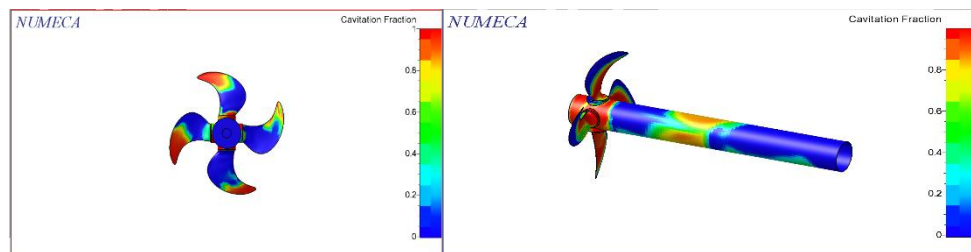
Pengujian ini dilakukan dengan mengaktifkan parameter kavitas pada additional models sehingga dapat dilihat *cavitation fraction*.

##### 4.4.1. Kavitas C4-40 - Pitch Angle 0°

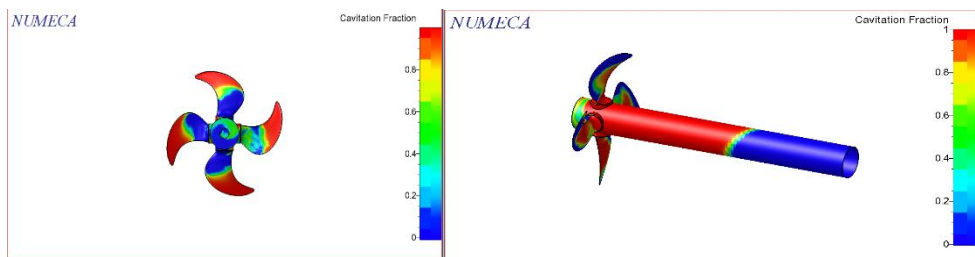
Pada CFview Cavitation fraction pada keadaan 0 adalah kondisi liquid sedangkan pada kondisi 1 adalah gas, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.4 sampai dengan gambar 4.9 menunjukkan hasil simulasi C4-40 pitch angle 0° di semua RPM.



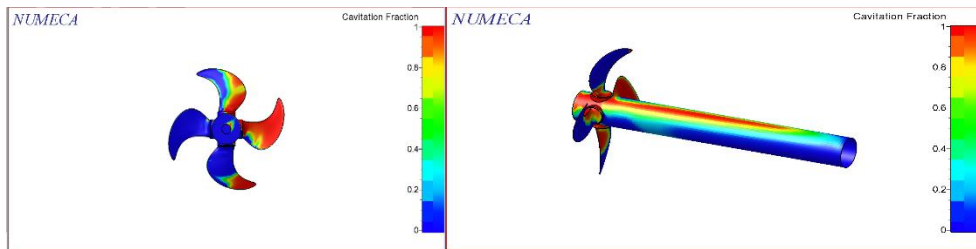
Gambar 4. 4 Kavitas C4-40 Pitch Angle 0° rpm 100



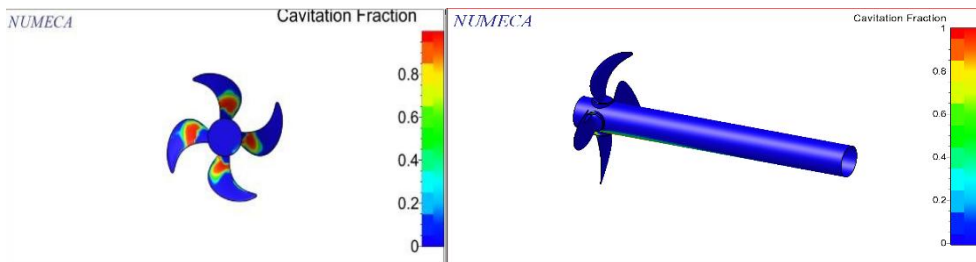
Gambar 4. 5 Kavitas C4-40 Pitch Angle 0° rpm 300



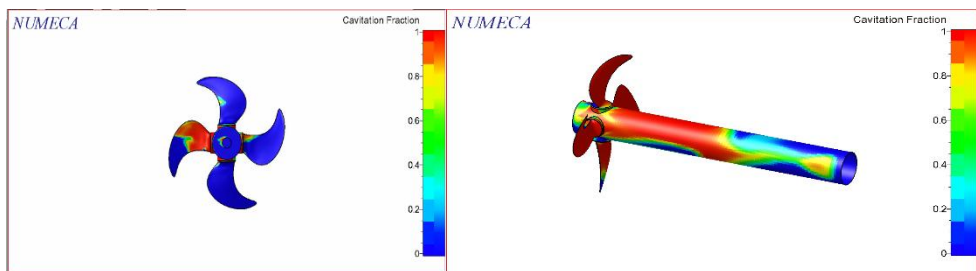
Gambar 4. 6 Kavitas C4-40 Pitch Angle 0° rpm 600



Gambar 4. 7 Kavitasi C4-40 *Pitch Angle*  $0^0$  rpm 1500



Gambar 4. 8 Kavitasi C4-40 *Pitch Angle*  $0^0$  rpm 2000

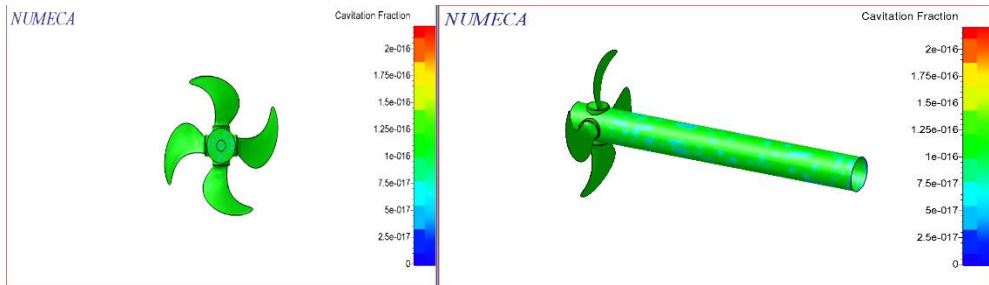


Gambar 4. 9 Kavitasi C4-40 *Pitch Angle*  $0^0$  rpm 2500

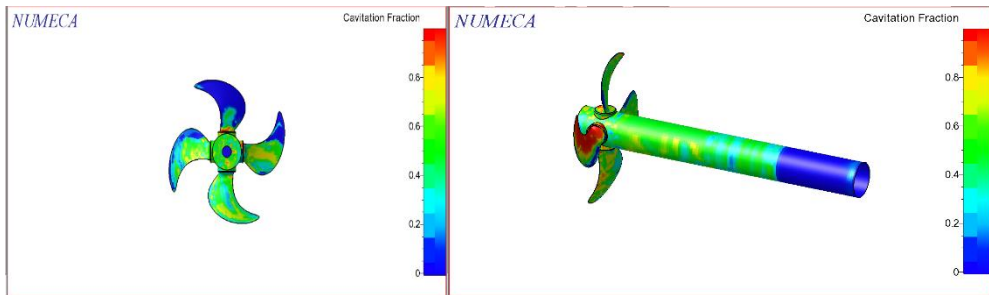
Dari konsepnya kavitasi akan terjadi apabila tekanan kurang dari tekanan vapor , dapat dilihat pada hasil simulasi propeller C4-40 dengan *pitch angle*  $0^0$  pada gambar di atas indikasi kavitasi dengan contour warna yang terjadi pada bagian propeller .sesuai konsep dasar semakin tinggi putarannya maka akan semakin tinggi peluang terjadinya kavitasi. Pada rpm 100,300,600 dapat di katakan sesuai dengan konsep dasar dapat di lihat sesuai dengan contour warna yang terjadi. Pada rpm 1500 kavitasinya tinggi tetapi tidak semua daunnya, pada rpm 2000 kavitasi semakin berkurang dan di rpm 2500 kavitasi tinggi tidak merata hanya 1 daun .dapat di katakan tidak sesuai konsep dasar kavitasi .

#### 4.4.2. Kavitasi C4-40 – Pitch Angle 22,5°

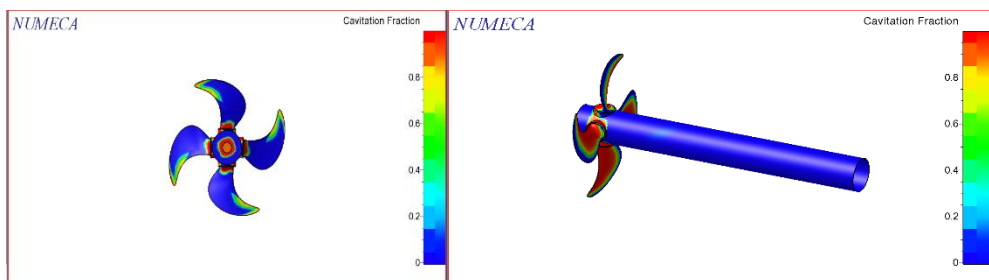
Pada CFview Cavitation fraction pada keadaan 0 adalah kondisi liquid sedangkan pada kondisi 1 adalah gas, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.10 sampai dengan gambar 4.15 menunjukkan hasil simulasi C4-40 pitch angle 22,5° di semua RPM.



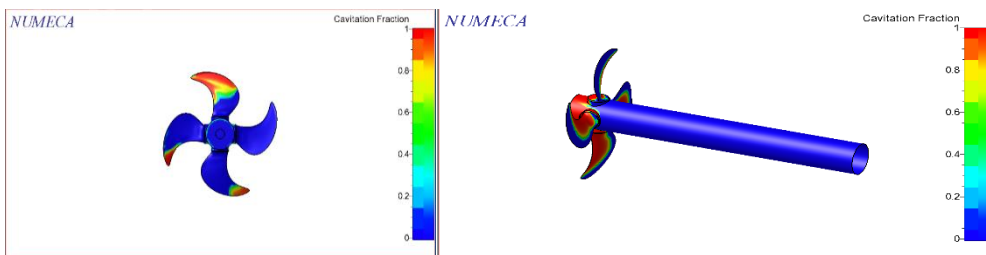
Gambar 4. 10 Kavitasi C4-40 Pitch Angle 22,5° rpm 100



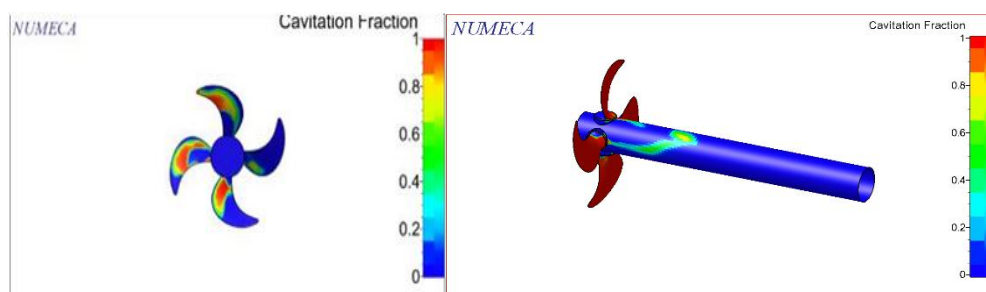
Gambar 4. 11 Kavitasi C4-40 Pitch Angle 22,5° rpm 300



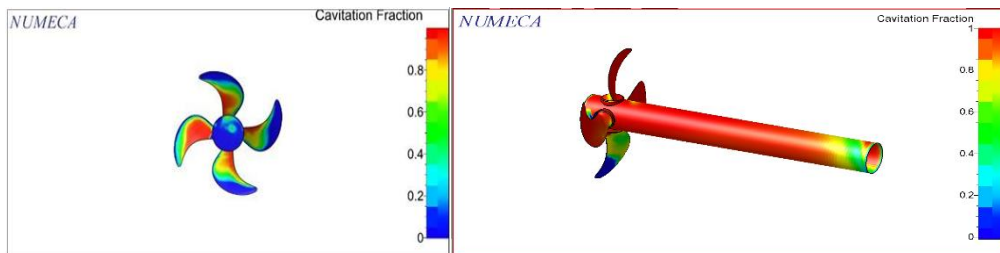
Gambar 4. 12 Kavitasi C4-40 Pitch Angle 22,5° rpm 600



Gambar 4. 13 Kavitasi C4-40 Pitch Angle  $22,5^{\circ}$  rpm 1500



Gambar 4. 14 Kavitasi C4-40 Pitch Angle  $22,5^{\circ}$  rpm 2000



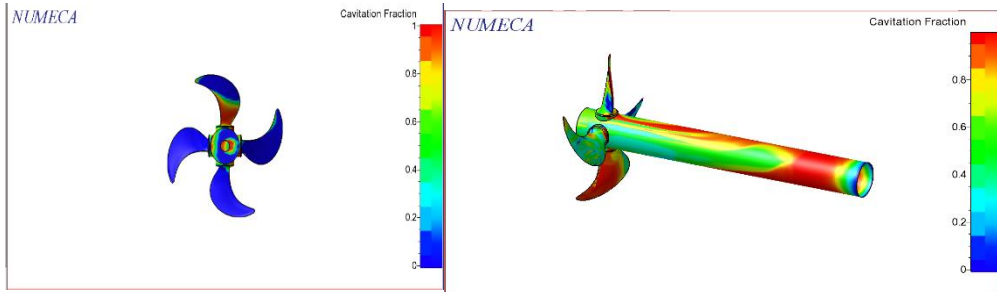
Gambar 4. 15 Kavitasi C4-40 Pitch Angle  $22,5^{\circ}$  rpm 2500

Dari konsepnya kavitasi akan terjadi apabila tekanan kurang dari tekanan vapor , dapat dilihat pada hasil simulasi propeller C4-40 dengan Pitch Angle  $22,5^{\circ}$  pada gambar di atas indikasi kavitasi dengan contour warna yang terjadi pada bagian propeller .sesuai konsep dasar semakin tinggi putarannya maka akan semakin tinggi peluang terjadinya kavitasi. pada RPM 100,300,600,1500,2000 dan 2500 dapat di katakan sesuai dengan konsep dasar tetapi pada bagian back rpm 2500 tidak sesuai konsep.

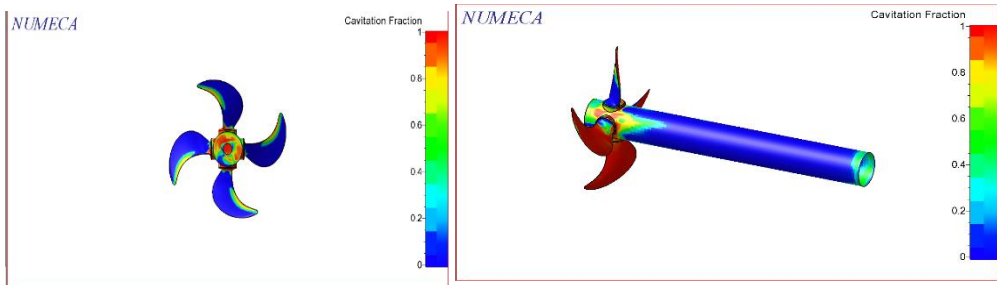


#### 4.4.3. Kavitasi C4-40 - *Pitch Angle 45°*

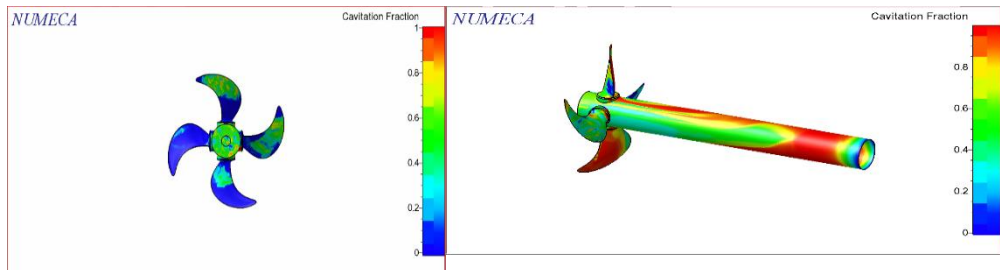
Pada CFview Cavitation fraction pada keadaan 0 adalah kondisi liquid sedangkan pada kondisi 1 adalah gas, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.16 sampai dengan gambar 4.21 menunjukkan hasil simulasi C4-40 *pitch angle 45°* di semua RPM



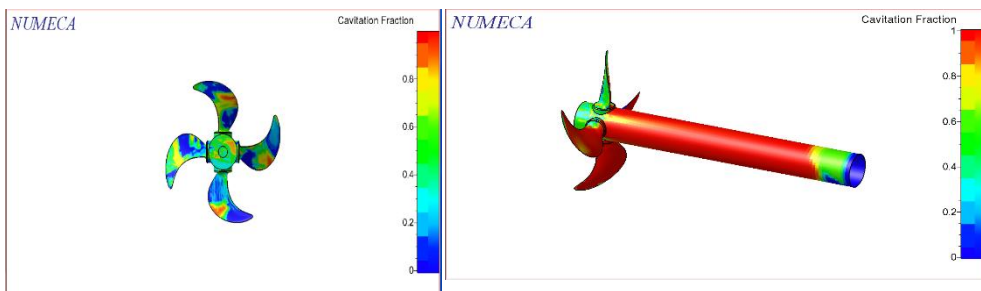
Gambar 4. 16. Kavitasi C4-40 *Pitch Angle 45°* rpm 100



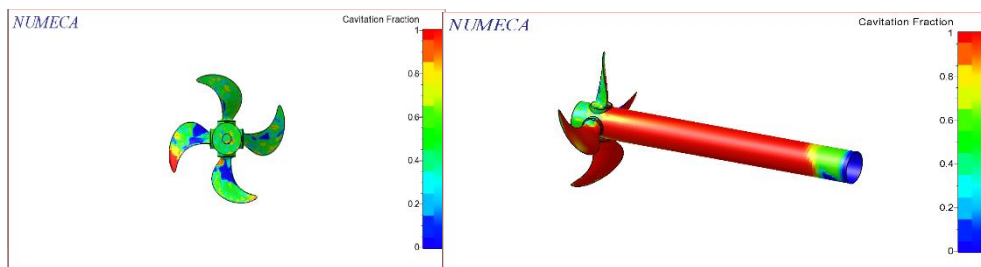
Gambar 4. 17 Kavitasi C4-40 *Pitch Angle 45°* rpm 300



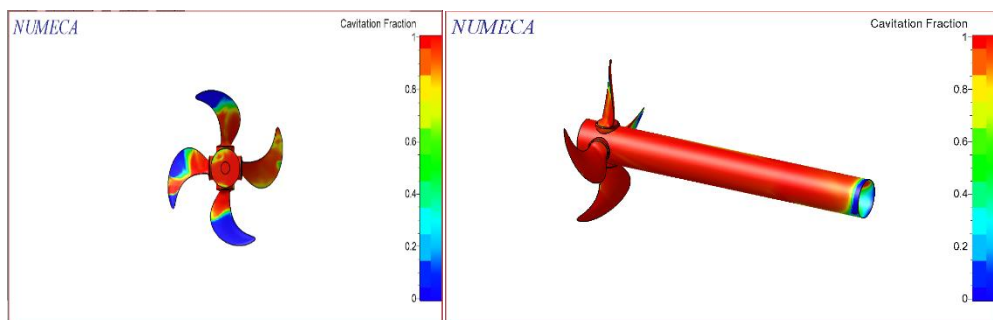
Gambar 4. 18 Kavitasi C4-40 *Pitch Angle 45°* rpm 600



Gambar 4. 19. Kavitasi C4-40 Pitch Angle  $45^{\circ}$  rpm 1500



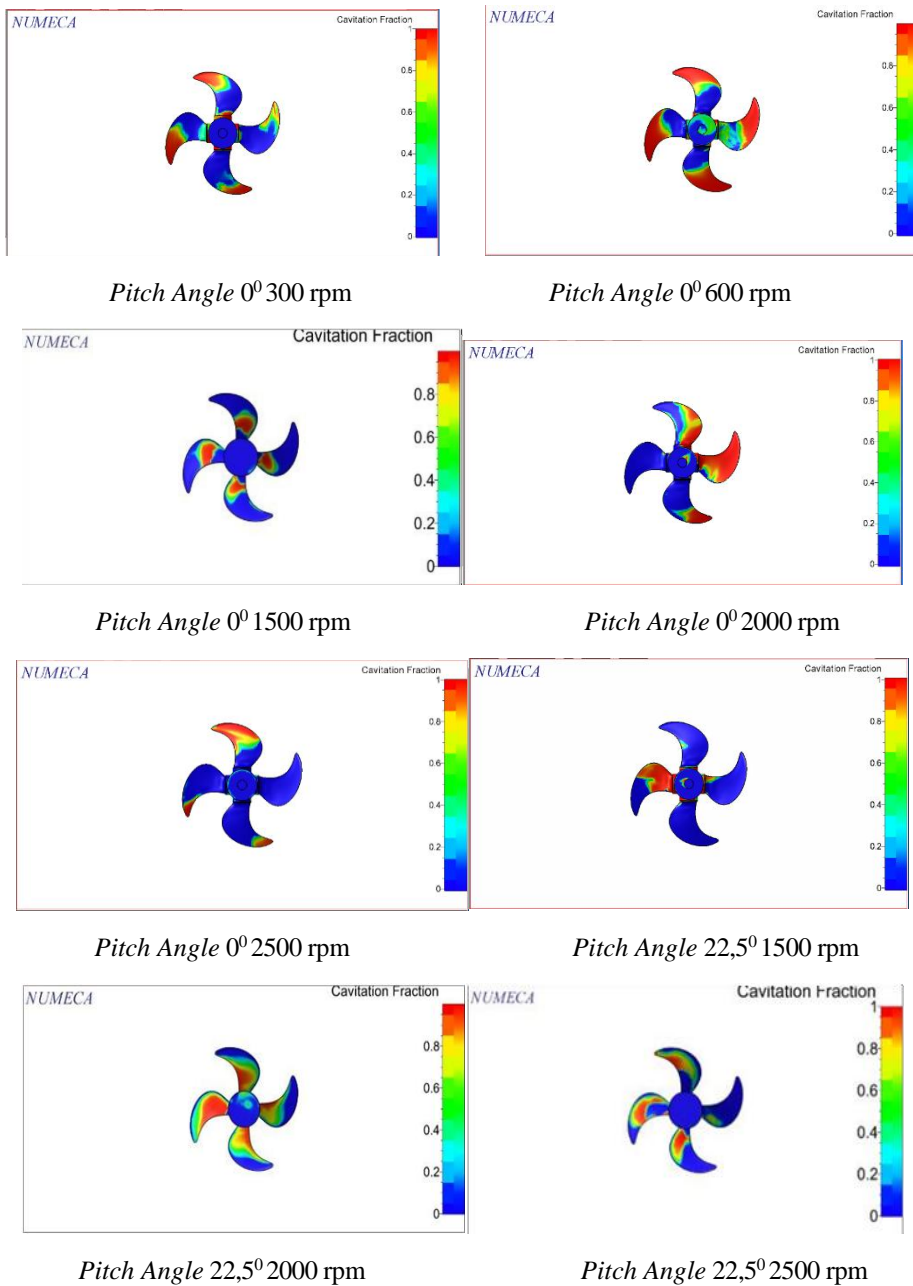
Gambar 4. 20 Kavitasi C4-40 Pitch Angle  $45^{\circ}$  rpm 2000



Gambar 4. 21. Kavitasi C4-40 Pitch Angle  $45^{\circ}$  rpm 2500

Dari konsepnya kavitasi akan terjadi apabila tekanan kurang dari tekanan vapor , dapat dilihat pada hasil simulasi propeller C4-40 dengan *pitch angle*  $45^{\circ}$  pada gambar di atas indikasi kavitasi dengan contour warna yang terjadi pada bagian propeller .sesuai dengan konsep dasar semakin tinggi putarannya maka akan semakin tinggi peluang terjadinya kavitasi. pada rpm 100,300,600,1500,2000 dan 2500 dapat di katakan sesuai dengan konsep dasar dapat di lihat sesuai dengan contour warna yang terjadi.

#### 4.4.4. Kavitas C4-40 - pada *Pitch Angle* dan RPM



Gambar 4. 22 Kavitas C4-40 - CFD pada beberapa *Pitch Angle* dan RPM

Tabel 4. 7. Kavitasi C4-40 - CFD

<i>Pitch Angle</i>	RPM					
	100	300	600	1500	2000	2500
0°	x	√	√	√	√	√
22,5°	x	x	X	√	√	√
45°	√	√	X	√	√	√

Tabel 4.7 adalah rangkuman dari hasil simulasi CFD, berdasarkan tabel tersebut dapat di ketahui bahwa kavitasi terjadi di RPM tinggi (1500, 2000, 2500) di semua *Pitch Angle*. Berbeda dengan variasi RPM rendah fenomena kavitasi jarang terjadi.

#### 4.5 Kavitasi C4-40 - Experiment

Berikut hasil eksperimen yang telah di lakukan pada penelitian ini.

##### 4.5.1 Kavitasi C4-40 - Pengujian 0°

Gambar 4.23 menunjukkan hasil pengujian *Pitch Angle* 0° rpm 100. Dari hasil pengujian maka dapat di nyatakan tidak terlihat fenomena kavitasi. Pengujian *Pitch Angle* 0° dengan 100 rpm menghasilkan thrust sebesar 5 N .



Gambar 4. 23. Kavitasi *pitch angle* 0° 100 rpm

Gambar 4.24 menunjukkan hasil pengujian *Pitch Angle* 0° rpm 300. Dari hasil pengujian maka dapat di nyatakan terlihat fenomena kavitasi seperti yang telah di lingkari. Pengujian sudut 0° dengan 300 rpm menghasilkan thrust sebesar 23 N .



Gambar 4. 24 Kavitasi pitch angle  $0^0$  300 rpm

Gambar 4.25 menunjukkan hasil pengujian *Pitch Angle*  $0^0$  rpm 600. Dari hasil pengujian maka dapat di nyatakan terlihat fenomena kavitasi seperti yang telah di lingkari. Pengujian *Pitch Angle*  $0^0$  dengan 600 rpm menghasilkan thrust sebesar 46 N .



Gambar 4. 25 Kavitasi pitch angle  $0^0$  600 rpm

#### 4.5.2 Kavitasi C4-40 - Pengujian $22,5^\circ$

Gambar 4.26 sampai gambar 4.28 menunjukkan hasil pengujian *Pitch Angle*  $22,5^\circ$ . Dari hasil pengujian maka dapat di nyatakan tidak terlihat fenomena kavitasi. Pengujian *Pitch Angle*  $22,5^\circ$  dengan 100 rpm menghasilkan thrust sebesar 0 N, pada 300 rpm menghasilkan 0 N dan pada 600 rpm menghasilkan 18 N.



Gambar 4. 26. Kavitasi *Pitch Angle*  $22,5^\circ$  100 rpm



Gambar 4. 27 Kavitasi *Pitch Angle*  $22,5^\circ$  300 rpm



Gambar 4. 28. Kavitasi *Pitch Angle*  $22,5^\circ$  600 rpm

#### 4.5.3 Kavitasi C4-40 - Pengujian 45°

Gambar 4.24 menunjukkan hasil pengujian *Pitch Angle* 45°. Dari hasil pengujian maka dapat di nyatakan terlihat fenomena kavitasi. Pengujian *Pitch Angle* 45° dengan 100 rpm menghasilkan thrust sebesar 15 N, pada 300 rpm menghasilkan 75,5 N dan pada 600 rpm menghasilkan 142 N.



Gambar 4. 29 Kavitasi *Pitch Angle* 45° 100 rpm



Gambar 4. 30. Kavitasi *Pitch Angle* 45° 300 rpm



Gambar 4. 31. Kavitasi *Pitch Angle* 45° 600 rpm

#### 4.6 Kavitas C4-40

Pada penelitian ini di gunakan 3 metode untuk mengetahui kavitasi propeller C4-40 berikut tabel 4.8 menunjukkan hasil dari percobaan 3 metode tersebut.

Tabel 4. 8. Kavitasi C4-40

<i>Pitch Angle</i>	RPM	Parameter Kavitasi		
		Perhitungan	CFD	Eksperimen
0°	100	x	x	x
	300	x	√	√
	600	x	√	√
	1500	√	√	*tidak di lakukan
	2000	√	√	
	2500	√	√	
22,5°	100	x	x	x
	300	x	x	x
	600	x	x	x
	1500	x	√	*tidak di lakukan
	2000	√	√	
	2500	√	√	
45°	100	x	√	√
	300	x	√	√
	600	x	x	√
	1500	√	√	*tidak di lakukan
	2000	√	√	
	2500	√	√	

Tabel 4.8 menunjukkan hasil perhitungan, hasil simulasi CFD, dan hasil eksperimen dengan variasi yang sama(RPM dan *Pitch Angle*). Sebagai catatan bahwa tidak di lakukan eksperimen putaran tinggi (1500,2000,2500) dengan alasan ketidakmampuan mesin. Dari tabel 4.8 dapat di simpulkan bahwa terkadang nilai kavitasi antara hasil perhitungan, hasil simulasi CFD dan hasil eksperimen mengalami ketidaksesuaian antara satu dengan yg lain. Sehingga dalam hal ini kita tidak dapat memilih antara ketiga metode tersebut, kita hanya dapat menggunakan ketiga metode tersebut untuk memvalidasi metode satu dengan yang lainnya.



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi putaran propeller akan memperbesar kemungkinan terjadinya fenomena kavitasi. Di sisi lain, dari simulasi CFD dan eksperimen menunjukkan bahwa *Pitch Angle*  $22,5^{\circ}$  memiliki nilai kavitasi terkecil dan memiliki nilai thrust terkecil. Sedangkan nilai kavitasi terbesar dimiliki variasi *Pitch Angle*  $45^{\circ}$  dan memiliki nilai thrust terbesar. Untuk Efisiensi menunjukkan bahwa *pitch angle*  $0^{\circ}$  memiliki efisiensi paling besar di banding variasi pitch angel lain dengan nilai sebesar 2,15.

#### **5.2. Saran**

Dalam batasan yang ada pada study kali ini dan pembahasan serta analisa yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat di sampaikan oleh penulis :

1. Perlu di lakukan experiment dengan tempat yang memadai serta peralatan yang lebih baik sehingga di dapatkan data yang lebih valid.
2. Perlu dilakukan modifikasi *Pitch Angle* yg lebih banyak lagi untuk mengetahui kinerja propeller C4-40 yang paling optimal.

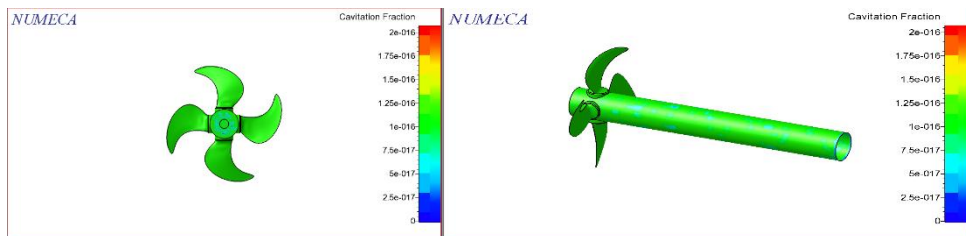
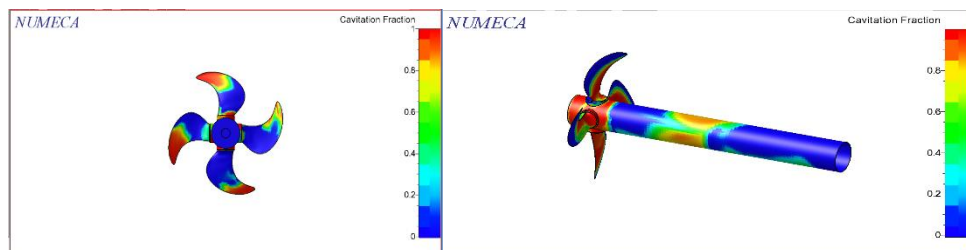
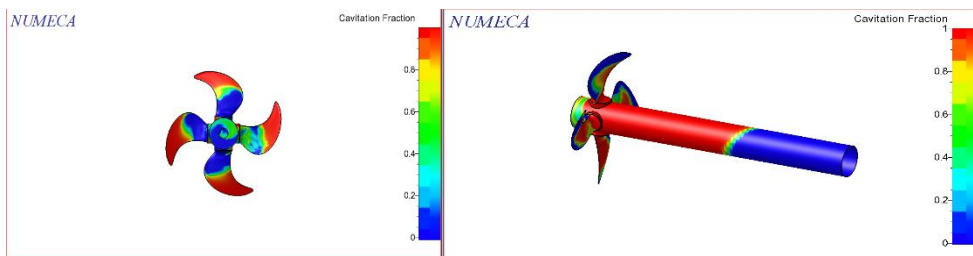
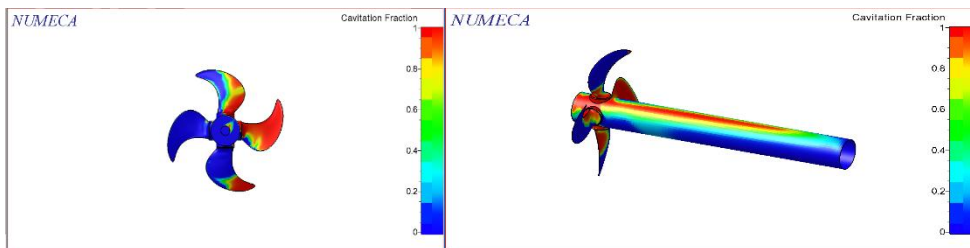
“Halaman ini sengaja di kosongkan”

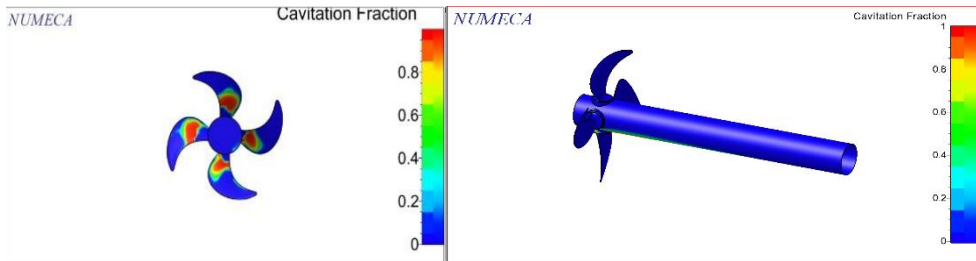
## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Muh. Zainal. 2012. *Analisa Performance Propeller B-Series dengan Pendekatan Structure dan Unstructure Meshing*. Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, ITS: Surabaya.
- Carlton, John. 2007. “ Marine Propeller and Propulsion ”. Oxford University:Elsevier.
- Dang j, Brouwer j, Bosman R, Pouw C. 2012. *Quasi-Steady Two-Quadrant Open Water Tests for the Wageningen Propeller C- and D-Series*. The Maritime Research Institute Netherlands : Netherlands
- Hanimann, Lucian. 2016. *Steady-state cavitation modeling in an open source framework: Theory and applied cases*. International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery: Hawaii.
- J. J. van den Boom H, Dang j, Th. Ligtelijn j. *The Wageningen C- and D-Series Propellers*. The Maritime Research Institute Netherlands : Netherlands
- Robert F Kunz, David A Boger, David R Stinebring, Thomas S Chyczewski, Jules W Lindau, Howard J Gibeling, Sankaran Venkateswaran, and TR Govindan. A preconditioned Navier–Stokes method for two-phase flows with application to cavitation prediction. *Computers & Fluids*, 29(8):849–875, 2000.
- Triasniawa, Tutug, . *STUDI PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK UNTUK ANALISA IDENTIFIKASI KAVITASI PADA PROPELER*. Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, ITS: Surabaya.
- Weixing Yuan, Jürgen Sauer, and Günter H Schnerr. Modeling and computation of unsteady cavitation flows in injection nozzles. *Mécanique & industries*,2(5):383–394, 2001.

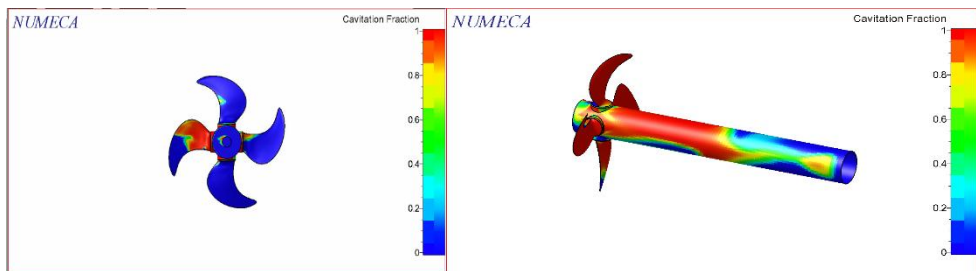
“Halaman ini sengaja di kosongkan”

**LAMPIRAN**

Hasil simulasi propeller c4-40 Pitch Angle  $0^{\circ}$ *Kavitasi Propeller C4-40 Pitch Angle  $0^{\circ}$  rpm 100**Kavitasi Propeller C4-40 Pitch Angle  $0^{\circ}$  rpm 300**Kavitasi Propeller C4-40 Pitch Angle  $0^{\circ}$  rpm 600**. Kavitasi Propeller C4-40 Pitch Angle  $0^{\circ}$  rpm 1500*

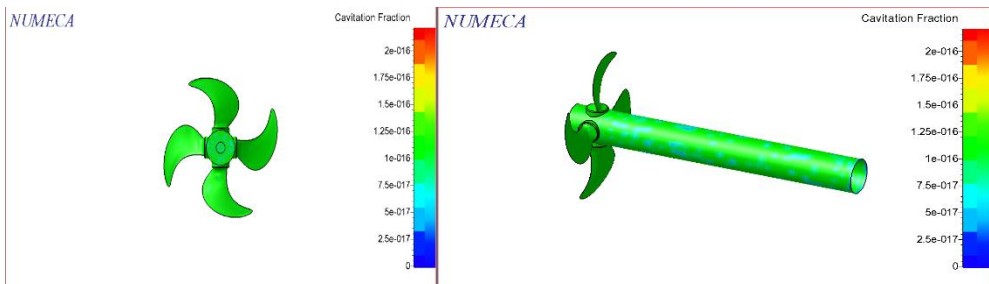


*Kavitasi Propeller C4-40 Pitch Angle  $0^{\circ}$  rpm 2000*

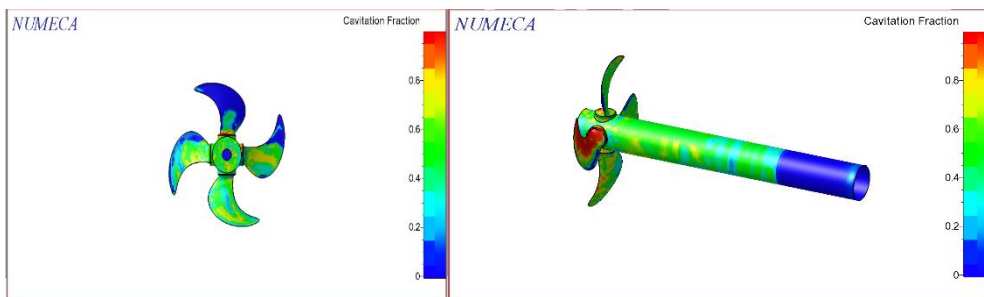


*. Kavitasi Propeller C4-40 Pitch Angle  $0^{\circ}$  rpm 2500*

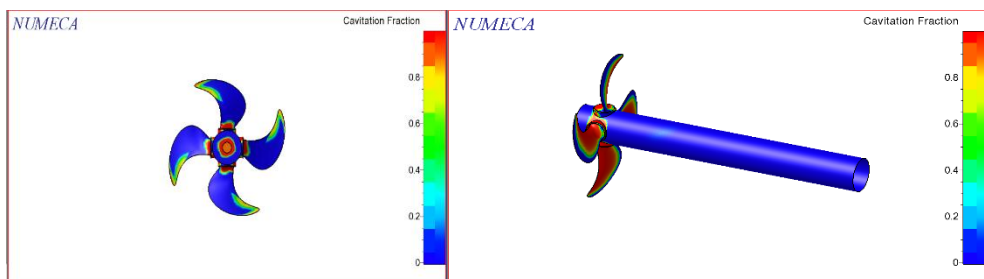
Hasil simulasi propeller c4-40 Pitch Angle  $22,5^{\circ}$



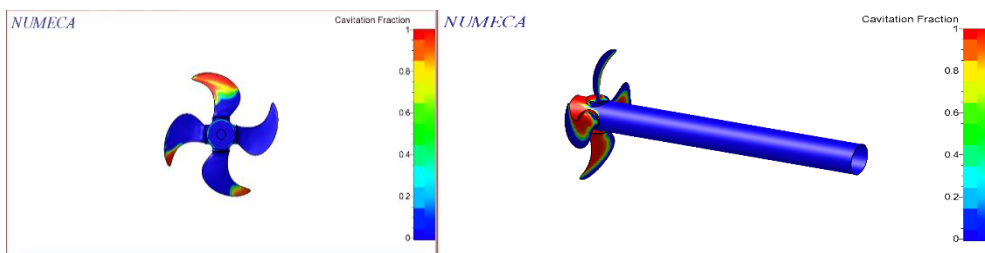
*. Kavitasi Propeller C4-40 Pitch Angle  $22,5^{\circ}$  rpm 100*



. Kavitasi Propeller C4-40 Pitch Angle  $22,5^{\circ}$  rpm 300

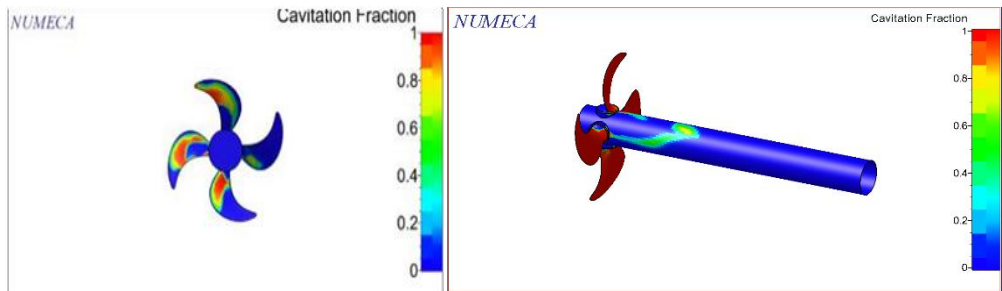


Kavitasi Propeller C4-40 Pitch Angle  $22,5^{\circ}$  rpm 600

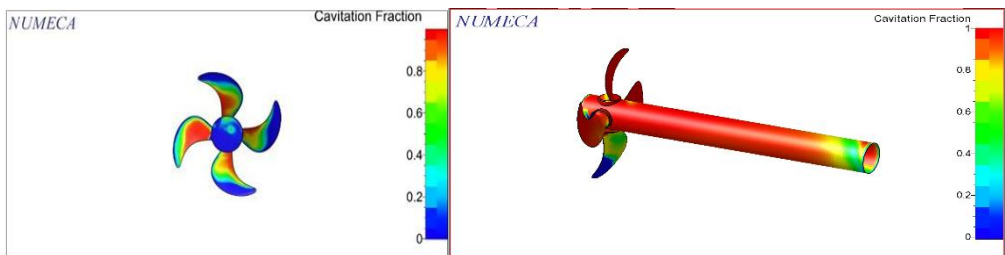




. Kavitasi Propeller C4-40 Pitch Angle  $22,5^{\circ}$  rpm 1500

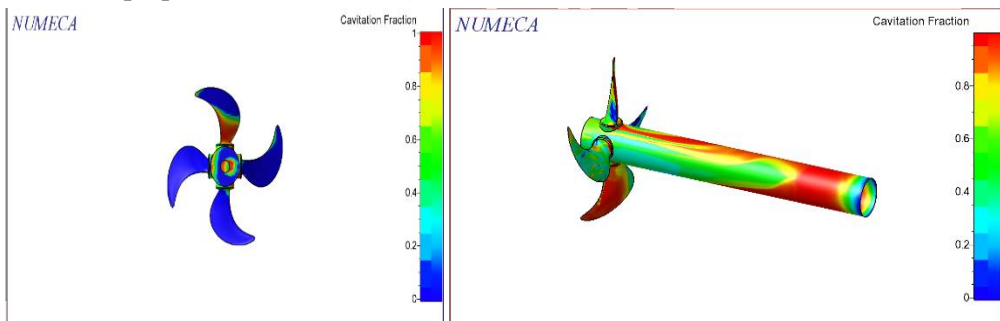


. Kavitasi Propeller C4-40 Pitch Angle  $22,5^{\circ}$  rpm 2000

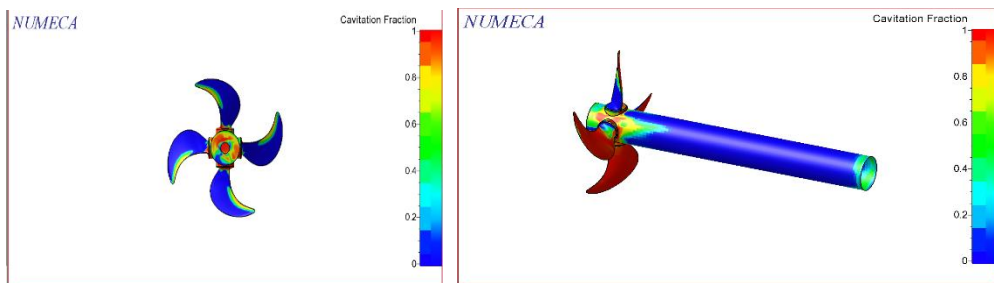


. Kavitasi Propeller C4-40 Pitch Angle  $22,5^{\circ}$  rpm 2500

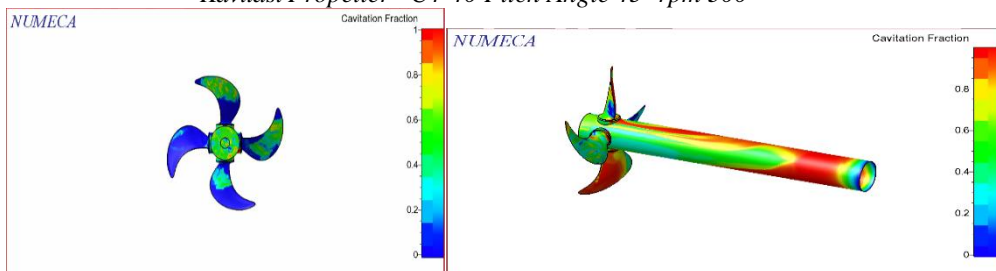
Hasil simulasi propeller c4-40 Pitch Angle  $45^{\circ}$



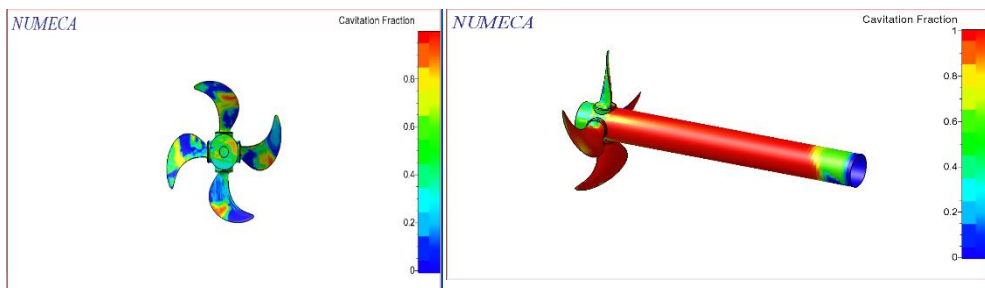
. Kavitasi Propeller C4-40 Pitch Angle  $45^{\circ}$  rpm 100



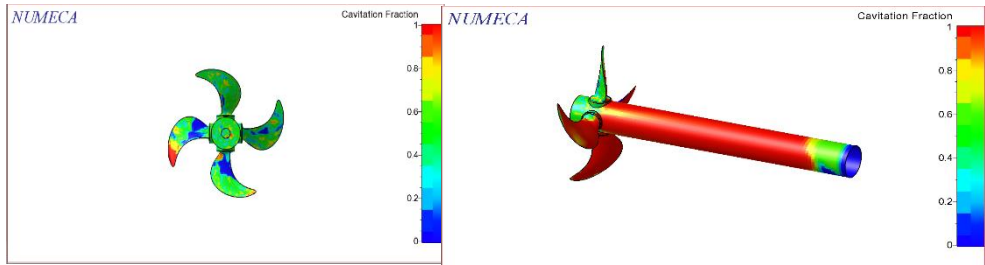
. Kavitasi Propeller C4-40 Pitch Angle  $45^{\circ}$  rpm 300



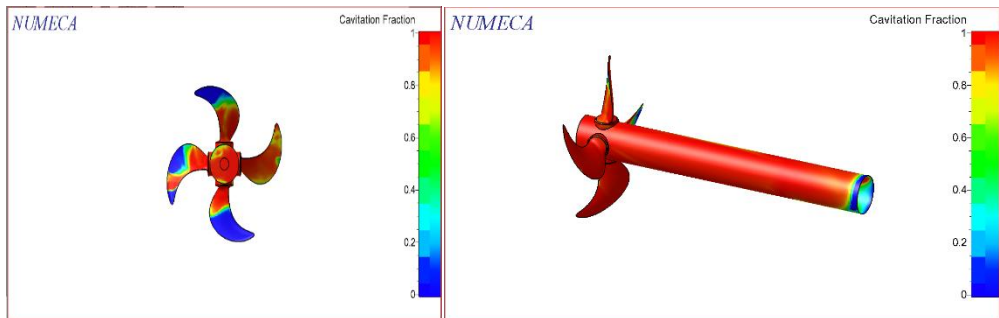
. Kavitasi Propeller C4-40 Pitch Angle  $45^{\circ}$  rpm 600



. Kavitasi Propeller C4-40 Pitch Angle  $45^{\circ}$  rpm 1500



. Kavitasi Propeller C4-40 Pitch Angle  $45^{\circ}$  rpm 2000



. Kavitasi Propeller C4-40 Pitch Angle  $45^{\circ}$  rpm 2500

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

## BIODATA PENULIS



Hanung Widyanto atau biasa dipanggil Hanung, lahir pada tanggal 03 Agustus 1996 di Ngawi, Jawa Timur. Penulis adalah putra kedua dari dua bersaudara dari pasangan Suyanto dan Lilis suryani. Ayah penulis adalah seorang yang berprofesi sebagai wiraswasta sedangkan ibu penulis adalah seorang yang berprofesi sebagai guru. Penulis menempuh pendidikan formal terakhir di Program Diploma III Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro (UNDIP) di tahun 2014 dan lulus di tahun 2017. Setelah lulus dari UNDIP, penulis melanjutkan pendidikan dan tepat di bulan November tahun 2017 penulis tercatat sebagai mahasiswa aktif Program Sarjana Lintas Jalur di Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Selama menempuh pendidikan perkuliahan di ITS, penulis mengambil bidang study Marine Manufacturing and Design (MMD) untuk menyelesaikan tugas akhir.

Hanung Widyanto  
NRP. 0421174600018  
Hanungxiiia3@gmail.com