SKRIPSI – ME141501

ANALISA PENGARUH SUDUT SKEW TERHADAP *NOISE* PADA PROPELLER KAPAL SELAM DENGAN MENGGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DINAMIC*

RIYAN BAGUS PRIHANDANU
NRP 04211440000091

Dosen Pembimbing
Irfan Syarif Arief, S.T.,M.T.
Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD, MMT

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

SKRIPSI – ME 141501

ANALISA PENGARUH SUDUT SKEW TERHADAP *NOISE* PADA PROPELLER KAPAL SELAM DENGAN MENGGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DINAMIC*

RIYAN BAGUS PRIHANDANU
NRP 04211440000091

Dosen Pembimbing
Irfan Syarif Arief, S.T.,M.T.
Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD, MMT

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Undergraduate Theses – ME 141501

ANALYSIS OF SKEW ANGLE TO NOISE EFFECT ON SUBMARINE PROPELLER USING COMPUTATIONAL FLUID DINAMIC METHOD

RIYAN BAGUS PRIHANDANU
NRP 04211440000091

Supervisor
Irfan Syarif Arief, S.T.,M.T.
Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD, MMT

DEPARTEMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUT OF TECHNOLOGY
2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PENGARUH SUDUT SKEW TERHADAP *NOISE* PADA PROPELLER KAPAL SELAM DENGAN MENGGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DINAMIC*

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:
RIYAN BAGUS PRIHANDANU
NRP 0421 14 4000 0091

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Irfan Syarif Arief, S.T.,M.T. ( )
   NIP. 1969 1225 1997 02 1001

2. Ir. Tony Bambang Musrijadi PGD, MMT ( )
   NIP. 1959 0410 1987 01 1001

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PENGARUH SUDUT *SKEW* TERHADAP *NOISE* PADA *PROPELLER* KAPAL SELAM DENGAN MENGGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DINAMIC*

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:
RIYAN BAGUS PRIHANDANU
NRP 0421 14 4000 0091

Disetujui oleh Kepala Departemen
Teknik Sistem Perkapalan:

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

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ANALISA PENGARUH SUDUT *SKEW* TERHADAP *NOISE* PADA *PROPELLER* KAPAL SELAM DENGAN MENGGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DINAMIC*

Nama Mahasiswa	**: Riyan Bagus Prihandanu**
NRP	**: 04211440000091**
Departemen	**: Teknik Sistem Perkapalan**
Dosen Pembimbing I	**: Irfan Syarif Arief, S.T.,M.T.**
Dosen Pembimbing 2	**: Ir. Tony Bambang Musrijadi PGD, MMT**

ABSTRAK

Indonesia merupakan Negara kepulauan terbesar di dunia. Indonesia diapit oleh dua benua yaitu benua Asia dan Australia. Indonesia Timur dengan laut yang sangat dalam merupakan lempeng Australia. Sedangkan Indonesia Barat menjadi satu lempeng dengan benua Asia yang memiliki laut yang dangkal. Konsep kapal selam mini menjadi sebuah pilihan yang tepat karena memiliki kemampuan bermanuver yang lincah, mampu menjangkau perairan dangkal, dapat menembakkan torpedo, efektif dalam penyebaran ranjau dan lebih susah terdeteksi radar sehingga baik dalam pengintaian. Perkembangan propeller atau baling-baling mengalami beberapa modifikasi bentuk dengan tujuan mendapatkan efisiensi yang paling baik sebagai bagian dari alat penggerak kapal, salah satu modifikasi itu yaitu *skew angle* dalam mengurangi nilai kavitasinya. Dengan melihat besar nilai akustik yang dihasilkan propeller maka kita dapat menilai kebisingan yang dihasilkan oleh sebuah propeller. Propeller yang berputar dapat menghasilkan kebisingan melalui tiga *Noise generation mechanisme* yang berbeda. *Bending vibration* dari bilah propeller ini tidak begitu penting karena tidak begitu mempengaruhi total kebisingan pada kenyataannya. Noise dari rotasi propeller yang dihasilkan oleh tekanan bidang yang mengelilingi setiap blade sebagai konsekuensi dari setiap pergerakannya. *Noise generation mekanisme* adalah kebisingan yang dihasilkan oleh *vortex noise* yang dihasilkan oleh vortisitas udara pada aliran lintasan baling yang terkumpul pada bilah propeler selama perputaran. Nilai kebisingan pada kecepatan 15 m/s yang diperoleh dari simulasi ,yaitu untuk skew 66˚ diperoleh nilai kebisingan tertinggi sebesar 140 dB 1μPa dan kebisingan terendah sebesar 90 dB 1μPa pada nilai skew 110˚ pada variasi skew, sedangkan untuk variasi pitch diperoleh nilai kebisingan 145 dB 1μPa pada P/D 1.166 untuk yang terbesar dan terkecil pada P/D 1.966 dengan nilai 120 dB 1μPa.

Kata Kunci : Sudut Skew, Pitch, *Noise*, *Hydroacoutic*, *Computational Fluid Dynamics (CFD)*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ANALYSIS OF SKEW ANGLE TO NOISE EFFECT ON SUBMARINE PROPELLER USING COMPUTATIONAL FLUID DINAMIC METHOD

Name	**: Riyan Bagus Prihandanu**
NRP	**: 04211440000091**
Departement	**: Teknik Sistem Perkapalan**
Supervisor I	**: Irfan Syarif Arief, S.T.,M.T.**
Supervisor 2	**: Ir. Tony Bambang Musrijadi PGD, MMT**

ABSTRACT

Indonesia is the biggest archipelago country in the world. Indonesia is flanked by two continents of Asia and Australia. East Indonesia with very deep sea is an Australian plate. While West Indonesia became one plate with the continent of Asia which has a shallow sea. The concept of mini-submarine becomes an appropriate choice because it has the ability to maneuver is agile, able to reach shallow waters, can fire torpedoes, effective in the deployment of mines and more difficult to detect the radar so good in reconnaissance. The propeller or propeller development undergoes some form modification in order to obtain the best efficiency as part of the ship's propulsion, one of which is the skew angle in reducing its cavity value. By looking at the magnitude of the acoustics the propeller generates then we can assess the noise generated by a propeller. Rotating propellers can generate noise through three different noise generation mechanisms. Bending vibration from the propeller blades is not that important because it does not really affect the total noise in reality. The noise of the propeller rotation is generated by the pressure of the plane that surrounds each blade as a consequence of each movement. Noise generation mechanism is the noise generated by the vortex noise generated by air vortices in the flow of the propeller paths accumulated on the propeller blades during rotation. The noise value at the speed of 15 m / s obtained from the simulation, ie for skew 66 ° obtained the highest noise value of 140 dB 1μPa and the lowest noise of 90 dB 1μPa at 110 skew value on the skew variation, whereas for the pitch variation obtained the noise value 145 dB 1μPa at P / D 1,166 for the largest and the smallest in P / D 1.966 with a value of 120 dB 1μPa.

Keywords: Skew Angle, Pitch, Noise, Hydroacoutic, Computational Fluid Dynamics (CFD)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

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 :

"ANALISA PENGARUH SUDUT *SKEW* TERHADAP *NOISE* PADA *PROPELLER* KAPAL SELAM DENGAN MENGGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DINAMIC*"

Tugas Akhir ini diajukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Bidang Studi *Marine Manufacture 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 dan adik atas doa, perhatian, dukungan moral, dan materi yang diberikan kepada penulis tanpa henti sehingga dapat terselesaikannya Tugas Akhir ini.
2. Bapak 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 sehingga penulis dapat menggali hal-hal baru untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
3. Bapak Ir. Tony Bambang Musrijadi PGD, MMT selaku dosen pembimbing kedua yang sering memberian masukan, solusi, waktu dan tempat pengerjaan kepada penulis ketika penulis mengalami kesulitan dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
5. Teman seperjuangan Tugas Akhir 2018 terutama teman-teman Lab MMD 2018 serta seluruh teman-teman seperjuangan Siskal Reguler dan *Double Degree* seluruh angkatan.
6. Teman seperjuangan Mercusuar '14 yang telah memberikan dukungan kepada penulis untuk segera menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Sahabat penulis di luar Kota Surabaya yang selalu memberikan motivasi kepada penulis untuk segera menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Dan seluruh pihak yang telah membantu dalam proses penulisan Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih banyak kekurangan karena keterbatasan pengetahuan dan pengalaman, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangatlah penulis harapkan untuk lebih baik dan sempurnanya Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan sebagai tambahan informasi serta wacana-wacana bagi semua pihak yang membutuhkan sehingga dapat memberikan kontribusi yang berarti bagi semua pihak yang berkepentingan dalam topik Tugas Akhir ini.

Wassalamualaikum wr, wb

Surabaya, 15 Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN v
KATA PENGANTAR xiii
DAFTAR ISI xv
DAFTAR GAMBAR xvii
DAFTAR TABEL xix
DAFTAR GRAFIK xxi
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 1
1.3 Batasan Masalah 1
1.4 Tujuan Penulisan 2
1.5 Manfaat Penulisan 2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 3
2.1 Pengertian Kapal Selam 3
2.2 Faktor – Faktor Pemilihan Propeller 4
2.3 Sumber Kebisingan 7
2.3.1 Lingkungan (*Ambient Noise*) 7
2.3.2 Kapal (*Self Noise*) 7
2.3.3 Boundary Layer Separation 8
2.3.4 Boundary Layer Transition 8
2.3.5 *Wake* dan Lapisan Batas Foil 9
2.3.6 Transmission loss 10
2.3.7 Kehilangan akibat bentuk persebaran 10
2.3.8 Pelemahan Gelombang 11
2.3.9 Akustik Bawah Laut 11
2.3.10 Boundary Loss 12
2.3.11 Kavitasi 13
2.3.12 Skala Logaritmik dan Intesitas Level 15
2.3.13 Fast Fourier Transform 15
2.4 Metode Computational Fluid Dynamic (CFD) 17
BAB III METODOLOGI 21
3.1 Metodologi Penelitian 21

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN 35
4.1 Gaya Dorong dan Torsi Propeller..... 35
4.2 Simulasi Aliran, Kavitasi dan Kebisingan..... 36
4.2.1 Hasil Simulasi Aliran Propeller 36
4.2.2 Hasil Simulasi Kavitasi Propeller 40
4.2.3 Hasil Simulasi Kebisingan.....46
BAB V KESIMPULAN 51
5.1. Kesimpulan 51
5.2. Saran 51
DAFTAR PUSTAKA.....53
LAMPIRAN 54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Kapal Selam Mini TNI AL 3
Gambar 2 Diameter Propeller 4
Gambar 3 Jumlah Daun Propeller 5
Gambar 4 Perbandingan luas daun kemudi 5
Gambar 5 Jarak Pitch Propeller Dalam Satu Putaran 6
Gambar 6 *Skew Angle Propeller* 6
Gambar 7 Transisi pada pelat datar 9
Gambar 8 Kontur *wake* (Carlton, 2012) 9
Gambar 9 Lapisan batas (Carlton, 2012) 10
Gambar 10 Variasi kecepatan terhadap kedalaman 11
Gambar 11 Penurunan tingkat kebisingan pada frekuensi tertentu selama tranmisi (Carlton, 2012) 12
Gambar 12 Hukum Snell 12
Gambar 13 Tekanan Terhadapan Suhu 13
Gambar 14 Domain waktu dan domain frekuensi 16
Gambar 15 a) Gelombang awal domain waktu ; b) dikret gelombang; c) gelombang domain frekuensi 16
Gambar 16 Penentuan *Boundary Condition* dan *Meshing* 18
Gambar 17 Analisa Aliran pada CFD 19
Gambar 18 Skew Design 23
Gambar 19 Geometri Propeller 24
Gambar 20 Propeller DTMB 4661 24
Gambar 21 Kerangka Garis Propeller 26
Gambar 22 Geometri Propeller Surface 26
Gambar 23 Geometri Blade 27
Gambar 24 Domain Fluida 27
Gambar 25 Parameter Domain 28
Gambar 26 Domain Fluida Propeller 28
Gambar 27 Boundary Condition 29
Gambar 28 Hasil Mesh 31
Gambar 29 Hasil Force 33
Gambar 30 Kecepatan Aliran pada Skew 22° 37
Gambar 31 Kecepatan Aliran pada Skew 44° 37
Gambar 32 Kecepatan Aliran pada Skew 66° 37
Gambar 33 Kecepatan Aliran pada Skew 88° 38
Gambar 34 Kecepatan Aliran pada Skew 110° 38
Gambar 35 Kecepatan Aliran pada P/D 1.166 39
Gambar 36 Kecepatan Aliran pada P/D 1.366 39
Gambar 37 Kecepatan Aliran pada P/D 1.566 39
Gambar 38 Kecepatan Aliran pada P/D 1.766 40
Gambar 39 Kecepatan Aliran pada P/D 1.966 40
Gambar 40 Kavitasi pada Skew 22˚ 41
Gambar 41 Kavitasi pada Skew 44˚ 41
Gambar 42 Kavitasi pada Skew 66˚ 42

Gambar 43 Kavitasi pada Skew 88˚ 42
Gambar 44 Kavitasi pada Skew 110˚ 43
Gambar 45 Kavitasi pada P/D 1.166 43
Gambar 46 Kavitasi pada P/D 1.366 44
Gambar 47 Kavitasi pada P/D 1.566 44
Gambar 48 Kavitasi pada P/D 1.766 45
Gambar 49 Kavitasi pada P/D 1.966 45
Gambar 50 Peletakan Receiver..... 46
Gambar 51 Hasil pengukuran kebisingan kapal selam (Ross, 1976) 47
Gambar 52 Nilai Kebisingan Propeller S. D. Sharma at el. 49
Gambar 53 Pengelompokan Jenis Kebisingan (Miasnikov, 2014)..... 50

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Koordinat Yface r/R 0.3 25
Tabel 2 Mesh Parameter (Numeca Documentation) 30
Tabel 3 Flow Parameter (Numeca Documentation) 31
Tabel 4 Physical Configuration (Numeca Documentation) 32
Tabel 5 Computation Control 33

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GRAFIK

Grafik 1 Validasi KT KQ J 34
Grafik 2 Gaya Dorong dan Torsi pada variasi Skew 35
Grafik 3 Gaya Dorong dan Torsi pada variasi Skew 36
Grafik 4 Sound Pressure Level pada Variasi Skew 47
Grafik 5 Sound Pressure Level pada Variasi Pitch 48

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan Negara kepulauan terbesar di dunia. Indonesia diapit oleh dua benua yaitu benua Asia dan Australia. Indonesia Timur dengan laut yang sangat dalam merupakan lempeng Australia. Sedangkan Indonesia Barat menjadi satu lempeng dengan benua Asia yang memiliki laut yang dangkal. Teknologi kapal selam merupakan teknologi yang sangat sensitif dan bersifat ekslusif nasional. Sebagian besar negara produsen kapal selam tidak mau berbagi bawah air apabila suatu waktu perang meletus. Konsep kapal selam mini menjadi sebuah pilihan yang tepat karena memiliki kemampuan bermanuver yang lincah, mampu menjangkau perairan dangkal, dapat menembakkan torpedo, efektif dalam penyebaran ranjau dan lebih susah terdeteksi radar sehingga baik dalam pengintaian.

Propeller merupakan salah satu bagian penggerak kapal yang mengubah rotasi gerak ke gaya dorong. Propeller beroperasi seperti perputaran pada skrup untuk menghasilkan gaya dorong. Perkembangan propeller atau baling-baling mengalami beberapa modifikasi bentuk dengan tujuan mendapatkan efisiensi yang paling baik sebagai bagian dari alat penggerak kapal, salah satu modifikasi itu yaitu *skew angle* dalam mengurangi nilai kavitasinya. Dengan melihat besar nilai akustik yang dihasilkan propeller maka kita dapat menilai kebisingan yang dihasilkan oleh sebuah propeller. Karena pada dasarnya Kapal Selam haruslah memiliki kemampuan untuk tidak terdeteksi, maka nilai kebisingan pada propeller haruslah rendah.

Maka dari itu, dalam membuat sebuah kapal selam yang sesuai dengan kondisi di perairan di indonesia dan tidak mudah mudah terdeteksi, dibuatlah kapal selam mini dengan penambahan sudut skew pada propellernya. Keuntungan dari optimasi ini dapat diketahui pengaruh perubahan sudut skew dan pitch propeller terhadap nilai kebisingan dari propeller untuk meningkatkan performa dari kapal selam.

1.2 Perumusan Masalah

Dari uraian yang disampaikan di atas, maka permasalahan yang menjadi bahan analisa dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana effisiensi pada setiap variasi sudut skew dan pitch propeller ?
2. Bagaimana aliran, kavitasi dan noise pada setiap variasi sudut skew dan pitch propeller ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan Masalah pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Kapal selam yang digunakan memiliki panjang 25 meter
2. Diameter Propeller Sebesar 1,5 m
3. Penelitian ini menggunakan pendekatan CFD
4. Pada penelitian kali ini peneliti tidak memperhatikan Analisa kekuatan dari Propeller

1.4 Tujuan Penulisan

Untuk menjawab rumusan masalah di atas, pada penulisan tugas akhir ini mempunyai tujuan sebagai berikut :

1. Mengetahui aliran, kavitasi dan noise pada setiap variasi sudut skew dan pitch propeller.
2. Mengetahui sudut skew dan pitch propeller yang optimum untuk propeller kapal selam.

1.5 Manfaat Penulisan

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Dapat mengetahui perubahan aliran, kavitasi dan nilai akustik pada setiap variasi sudut skew dan pitch
2. Dapat mengetahui perbandingan pengaruh sudut skew dan pitch terhadap noise pada propeller kapal selam
3. Dapat digunakan sebagai referensi penelitian selanjutnya dalam rangka pengembangan bidang teknologi maritim

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Kapal Selam

Kapal selam adalah kapal yang bergerak di bawah permukaan air, umumnya digunakan untuk tujuan dan kepentingan militer. Sebagian besar Angkatan Laut memiliki dan mengoperasikan kapal selam sekalipun jumlah dan populasinya masing-masing negara berbeda. Selain digunakan untuk kepentingan militer, kapal selam juga digunakan untuk ilmu pengetahuan laut dan air tawar dan untuk bertugas di kedalaman yang tidak sesuai untuk penyelam manusia.

Gambar 1 Kapal Selam Mini TNI AL

Meskipun kapal selam mengapung dengan mudah, kapal itu mampu menyelam ke dasar samudra dan tetap berada di situ sampai berbulan-bulan lamanya. Rahasianya terletak pada konstruksi khas dinding rangkap kapal tersebut. Ruang-ruang khusus kedap air (atau tangki pemberat) antara dinding luar dan dinding dalam dapat d2si air laut sehingga meningkatkan bobot keseluruhan dan menguranig kemampuan mengapungnya. Dengan dorongan baling-baling ke depan dan pengarahan bilah kemudi datar ke bawah, kapal itu menyelam.

Desain dan pengembangan baling-baling untuk kapal selam dalam beberapa hal berbeda dari baling-baling untuk Kapal yang berada dipermukaan. Kebutuhan yang paling penting bagi baling-baling kapal selam adalah rendahnya kebisingan yang ditimbulkan. Dalam langkah-langkah proses desain prosedur desain yaitu termasuk perkiraan kecepatan. Hal itu disebabkan ditakutkannya adanya kavitasi yang menimbulkan kebisingan. Kavitasi sendiri terjadi karena peningkatan kecepatan dan penurunan tekanan yang menyebabkan mendidihnya air lalu terjadilah gelembung kavitasi. Gelembung tersebut bercampur dengan gas lain disekitar yang menyebabkan terjadinya aliran kavitasi. Dari aliran kavitasi tersebut menyebabkan terjadinya kebisingan yang harus dihindari dalam mendesain propeller kapal selam. Dalam merancang kapal selam ada beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu :

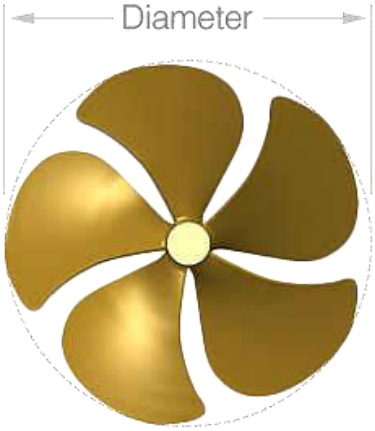
- Akustik yang rendah, optik, elektromagnetik, termal dan gelombang komunikasi
- Manuver dan propulsi dengan kualitas tinggi.
- Peningkatan perlindungan pasif dengan mengurangi kebisingan emisi dan baik dalam melawan hambatan.
- Baling-baling benar-benar bebas dari kavitasi dengan memadai margin
- Baling-baling dengan efisiensi tinggi

2.2 Faktor – Faktor Pemilihan Propeller

Propeller merupakan salah satu aspek teknis yang memiliki pengaruh sangat penting terhadap kecepatan suatu kapal, karena fungsinya adalah mengubah daya putar dari motor menjadi daya dorong. Desain dan spesifikasinya mempunyai pengaruh langsung terhadap efisiensi bahan bakar. Desain propeller yang buruk menjadi penyebab utama terjadinya pemborosan bahan bakar. Wilson, menjelaskan beberapa faktor penting yang berkaitan dengan pemilihan propeller adalah :

- **Diameter Propeller**

  Pemilihan diameter terbesar dan putaran yang rendah merupakan kunci pokok dari pemilihan propeller yang optimum. Suatu studi kasus yang dilakukan oleh Berg [1982] tentang penggantian suatu diameter propeller yang lebih besar pada suatu kapal nelayan, menghasilkan suatu pengurangan sebesar 30% pemakaian bahan bakar pada kecepatan rata – rata, dan meningkatkan kekuatan tarik kapal sebesar 27%.



Gambar 2 Diameter Propeller

- **Putaran Propeller (nprop)**

  Semakin besar diameter propeller, dibutuhkan putaran propeller yang lebih rendah, sehingga diperoleh efisiensi propeller yang lebih tinggi. Putaran propeller yang rendah mengakibatkan slip yang terjadi menjadi minimum. Namun putaran yang rendah ini mengharuskan penggunaan suatu gearbox penurun putaran.

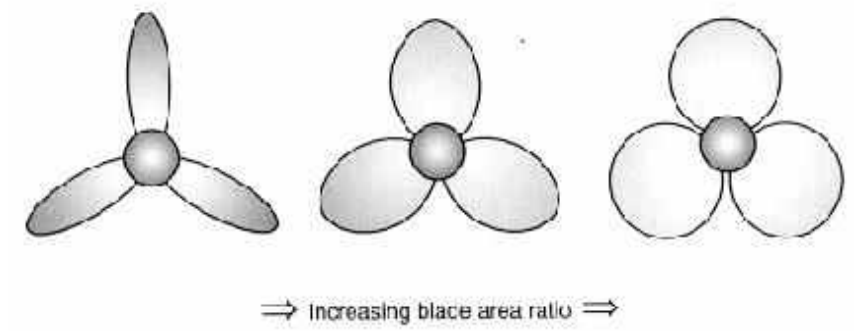
- **Jumlah daun propeller (Z)**

  Pada suatu kecepatan propeller tertentu, semakin sedikit daun propeller, maka semakin tinggi efisiensi propeller. Namun sedikitnya jumlah daun propeller, masing – masing daun propeller akan menanggung beban yang lebih besar. Hal ini dapat menyebabkan timbulnya getaran (terutama propeller berdaun dua) dan berkontribusi terhadap kavitasi. Ketika diameter propeller terbatas oleh kondisi bagian buritan kapal, seringkali akan lebih baik untuk menjaga kecepatan propeller rendah dan menyerap daya melalui penggunaan jumlah bilah yang lebih banyak.

Gambar 3 Jumlah Daun Propeller

- **Luasan daun propeller (A_E/A_0)**

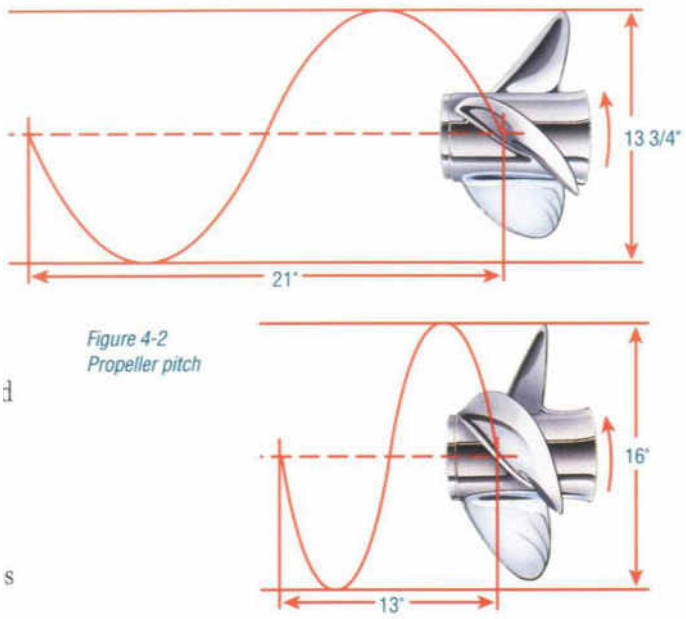
  Suatu propeller dengan luasan sempit memiliki efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan sebuah propeller yang lebar. Kondisi ini disebabkan pada daun propeller yang lebar terjadi kenaikan gesekan pengereman (frictional drag). Sebuah baling – baling dengan bilah sempit lebih efisien dari satu dengan pisau yang luas. Namun baling – baling dengan bilah rendah rasio luas lebih rentan terhadap kavitasi sebagai dorongan bahwa baling – baling adalah mengantarkan distribusi melalui pisau kecil luas permukaan. Pertimbangan kavitasi selalu mengharuskan daerah pisau yang dipilih rasio lebih tinggi dari nilai yang paling efisien.



Gambar 4 Perbandingan luas daun kemudi

- **Pitch Propeller**

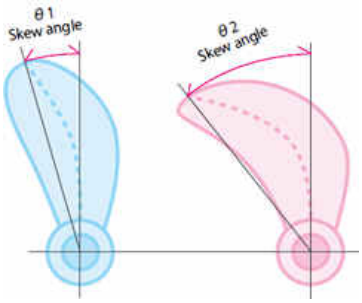
  Pitch merupakan jarak translasi yang ditempuh oleh propeller dalam satu putaran. Semakin tinggi maka propeller akan menyerap tenaga semakin besar, pada suatu putaran mesin yang tetap. Oleh karena itu, fungsi rasio pitch diameter ini memiliki kesamaan dengan roda gigi. Seringkali diperoleh efisiensi yang lebih baik, dengan menaikkan rasio pitch diameter.



Gambar 5 Jarak Pitch Propeller Dalam Satu Putaran

- **Skew Angle Propeller**

  S*kew Angle Propeller* adalah pengertian yaitu sudut antara propeller shaft center line sampai dengan blade tip. Blade tip sendiri adalah pertemuan dari trailing edge dan leading edge pada surface propeller dan merupakan jarak maksimum dari radius propeller. Skew angle dapat berfungsi untuk mengurangi beban dan tekanan propeller saat memeacah aliran fluida.



Gambar 6 *Skew Angle Propeller*

2.3 Sumber Kebisingan

2.3.1 Lingkungan (*Ambient Noise*)

Kebisingan yang ditimbulkan oleh lingkungan sekitar kapal beroperasi merupakan bagian penting dalam aktivitas mendeteksi musuh, sistem radar yang dimiliki harus mampu mengidentifikasi kebisingan yang dihasilkan kapal musuh diantara kebisingan lingkungan. Kebisingan lngkungan terdiri dari:

a. Lalu lintas kapal, yaitu kebisingan ini meningkat seiring peningkatan jumlah kapal yang melalui perairan tersebut.
b. Pasang surut gelombang air laut, kebisingan jenis ini memberikan kontribusi yang kecil, signifikan pada frekuensi rendah (<100 Hz) dan akan mengalami penurunan nilai yang sangat drastic dengan peningkatan kedalaman.
c. Seismik, Kebisingan jenis ini ditimbulkan aktivitasi tektonik bumi ,nilai tidak signifikan dan terjadi pada frekuensi rendah.
d. Keadaan Perairan, kebisingan jenis ini merupakan faktor dominan dalam *ambient noise*, yang termasuk dalam keadaan perairan, yaitu skala *sea-state* (kecepatan angin, ketinggian gelombang, periode gelombang), dan hujan .

2.3.2 Kapal (*Self Noise*)

Kebisingan jenis ini ditimbulkan oleh aktivitas kapal selam beroperasi, terdiri dari:

a. Propeller
   Propeller yang berputar saat beroperasi menghasilkan kebisingan yang dipengaruhi kecepatan rotasi dan geometri. Ketika terjadi kavitasi akan terbentuk kebisingan yang ditransmisikan jarak jauh, nilai kavitasi bergantung pada kecepatan, jenis dan kedalaman propeller di air.
b. Aliran
   Turbulensi yang terjadi pada interaksi lambung dan fluida menimbulkan kebisingan, yang nilainya dominan selama tidak terjadi kavitasi.
c. Permesinan
   Kapal menggunakan banyak mesin untuk memenuhi kebutuhan operasinya, termasuk didalamnya yaitu *reduction gear*, generator, *hydraulic machinery*. Seluruh mesin ini akan menimbulkan getaran terhadap dudukannya, getaran ini di transmisikan ke lingkungan sekitar termasuk ke perairan dimana kapal beroperasi. Kebisingan dari permesinan dominan di kecepatan rendah.
d. Sistem Kelistrikan
   Kebisingan jenis ini ditimbulkan oleh perlengkapan elektronik yang ada dikapal, selama digunakan dalam operasional nilai kebisingan ini akan terus di transmisikan ke luar kapal, namun nilainya konstan pada setiap kecepatan.

2.3.3 Boundary Layer Separation

Pemisahan lapisan batas terjadi karena penurunan percepatan gerak fluida akibat gesekan dengan benda ,secara persamaan terjadi penurunan kecepatan, yang mana kecepatan berbanding terbalik dengan tekanan. Pemisahan aliran ini dapat terjadi dialiran laminer maupun aliran turbulen. Untuk mencegah terjadinya pemisahan aliran, dapat dilakukan berbagai cara seperti berikut.

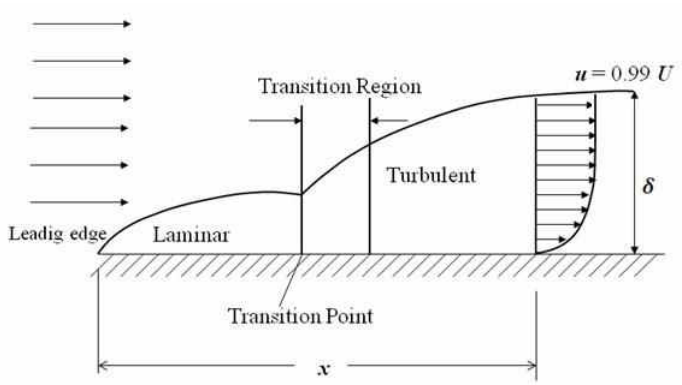
- Menaikan viskositas, sehingga aliran akan terus laminer sepanjang objek.
- Meningkatkan momentum yang disalurkan ke aliran memberikan momentum melalui aliran secara langsung
- Menghisap momentum disekitar objek yang bersentuhan dengan aliran

2.3.4 Boundary Layer Transition

Transisi lapisan batas adalah proses perubahan aliran laminer menjadi aliran turbulen. Perubahan ini diamati oleh reynold, yang menggunakn tinta sebagai penanda alirannya. Proses ini sangat kompleks sehingga masih intensif dijadikan objek penelitian. Penyebab terjadinya transisi ini ialah :

a. Kekasaran permukaan
b. Turbulensi
c. Pemanasan/pendinginan permukaan interaksi (*heat transfer*)
d. Kurvatur permukaan
e. Kemampu-mampatan (*compressibility*)
f. Perbedaan tekanan (*pressure gradient*)
g. Fluktuasi tekanan yang menimbulkan kebisingan
h. Kejadian penghisapan/pendorongan di permukaan (*suction/blowing*)

Pada kecepatan tinggi suhu permukaan akan mengalami peningkatan, dengan insulasi yang baik hal ini dapat dicegah. Perbedaan suhu antara benda dan lingkungan ini memengaruhi transisi lapisan batas. Ketika suhu objek yang melewati fluida lebih dingin dibanding fluida yang dilewatinya aliran akan stabil. Namun pada kasus kecepatan tinggi permukaan objek selalu menjadi lebih panas dibanding fluida yang dilewatinya, sehingga cenderung tidak stabil. Mode mekanisme terjadinya transisi sangat banyak pada kecepatan tinggi,misanya kekasaran. Tinggi kekasaran selama lebih kecil dari ukuran lapisan batasnya akan menjaga kestabilan, dimana semakin cepat objek bergerak nilai kritis yang menandakan terjadinya transisi semakin besar, sehingga dapat dikatakan kekasaran menunda terjadinya transisi. Sedangkan pada kecepatan rendah, transisi terjadi akibat kurvatur, kekasaran permukaan, gradien tekanan. (Tani, 1969)

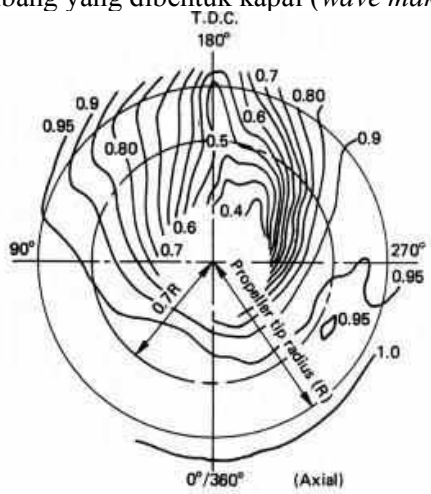


Gambar 7 Transisi pada pelat datar

2.3.5 *Wake* dan Lapisan Batas Foil

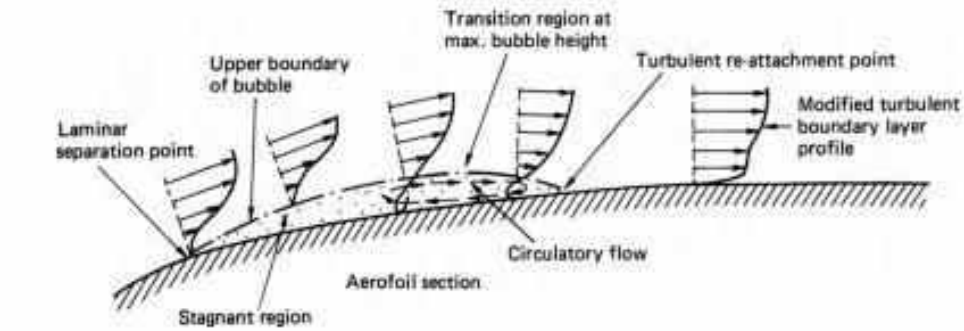
Wake berpengaruh terhadap nilai kebisingan yang dihasilkan propeller,hal ini karena propeller bekerja di daerah *wake* yang dihasilkan lambung kapal yang ada didepannya.*Wake* yang terjadi di area propeller bekerja di pengaruhi 3 komponen utama, yaitu :

1. Aliran streamline disepanjang objek.
2. Bentuk lapisan batas (*boundary layer*).
3. Pengaruh gelombang yang dibentuk kapal (*wave making component*).



Gambar 8 Kontur *wake* (Carlton, 2012)

Wake terjadi akibat ketidakmampuan suatu aliran mengikuti bentuk kurvatur lambung yang mengecil diburitan sehingga terjadi kenaikan tekanan yang menghambat arah gerakan aliran. Aliran ini akan terpisah dari lambung dan bergerak menjauh, bagian yang ditinggalkan akan d2si aliran yang berada diatasnya sehingga terjadi aliran yang berlawanan arah dengan aliran yang ditimbulkan akibat gerakan.



Gambar 9 Lapisan batas (Carlton, 2012)

2.3.6 Transmission loss

Gelombang suara selama merambat akan mengalami kehilangan intensitasnya, sebelumnya sudah di paparkan bahwa *instensity level* dalam satuam dB merupakan rasio nilai antara satu lokasi dengan lokasi tinjauan yang lain. Besarnya *transmisi loss* secara matematis dinyatakan :

$$TL = 10\ Log\ \frac{I\ (I\ yard\ )}{I\ (r)} \qquad (\ 2\text{-}1\ )$$

Satuan jarak yang digunakan dalam perhitungan kehilangan transmisi ini dalam satuan yard. Kehilangan transmisi ini disebabkan oleh:

1. Kehilangan secara geometri akibat bentuk penyebaran yang diasumsikan berbentuk bola atau silinder
2. Pelemahan akibat penyerapan, hamburan, kekentalan, dan suhu

2.3.7 Kehilangan akibat bentuk persebaran

Bentuk persebaran gelombang diawali berbentuk bola dan silinder.

a. Bentuk Bola

Gelombang merambat ke segala arah sehingga menyerupai bola. Ukuran gelombang awal semakin lama semakin membesar, namun daya yang dihasilkan tetap sama namun jarijarinya akan berubah. Bentuk persamaan transmisi loss ini hanya sesuai dengan bentuk transmisi bola, yang umumnya dominan terjadi di pasif SONAR.

b. Bentuk Silinder

Gelombang setelah merambat kesegala arah akan menabrak perbatasan medium, pada kasus kapal selam yang medium rambatnya air perbatasan ini ialah permukaan air laut dan dasar laut ,sehingga akan terjadi pemantulan sehingga akan terus dirambatkan menjauh ,yang menyerupai silinder.

2.3.8 Pelemahan Gelombang

Pelemahan menurunkan intensitas per jarak tempuh gelombang ada tiga penyebab utama penyerapan, yaitu :

a. Viskositas, dimana tegangan geser yang terjadi akibat molekul yang bergeseran di konversi ke suhu .
b. Perubahan Struktur Molekul ,molekul air laut terurai menjadi ion sampai gelombang suara melewati molekul.
c. Konduksi panas, proses ini diabaikan.

Secara matematis besarnya penurunan nilai amplitudo gelombang akibat transmission loss adalah :

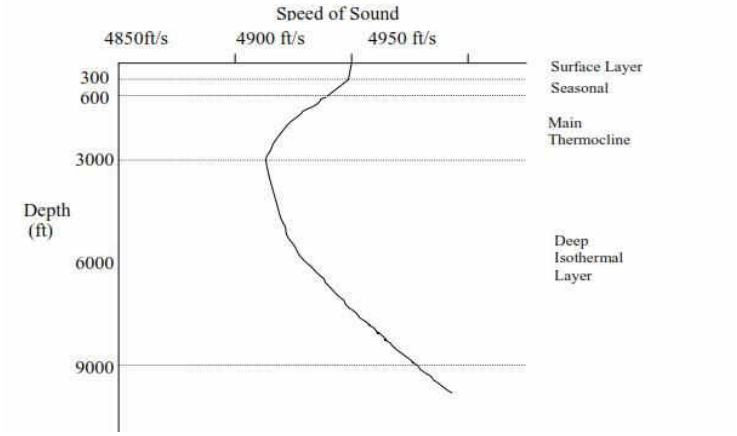
$$TLattenuation = \alpha\ (\ r - (1yd))x\ 10{-}3\ dB \qquad (\ 2\text{-}2\ )$$

Satuan yang digunakan r adalah yard, karena dalam menganalisa *losing* dilakukan untuk jarak yang jauh maka nilai -1 dapat diabaikan. Bagian yang tersulit dari persamaan ini ialah menentukan nilai koefisien perlambatan (α). Secara matematis dinyatakan :

$$TLattenuation = \alpha\ (\ r\ x\ 10{-}3)dB \qquad (\ 2\text{-}3\ )$$

2.3.9 Akustik Bawah Laut

Gelombang suara memiliki kecepatan 4 kali lebih besar dibanding ketika diudara, nilainya dipengaruhi kedalaman, letak perairannya / latitude, suhu lingkungan, dan salinitas perairan.



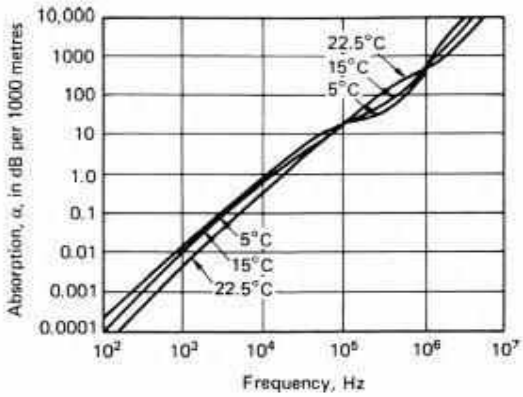
Gambar 10 Variasi kecepatan terhadap kedalaman

Gelombang frekuensi kecil (di bawah 1000 Hz) menjadi dasar pengamatan tingkat kebisingan.hal ini didasari pada rumus matematis

$$\lambda = C/f \qquad (\ 2\text{-}4\ )$$

dimana,
λ = Panjang gelombang (m)
C = Kecepatan rambat gelombang (m/s)
f = Frekuensi gelombang (Hz)

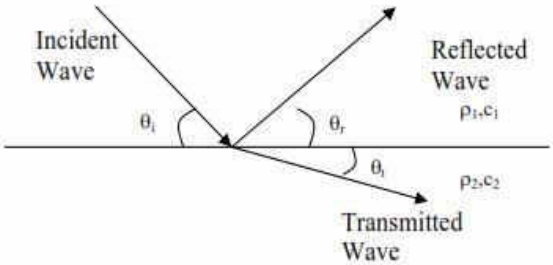
Sehingga semakin besar frekuensi panjang gelombang semakin pendek sehingga kemungkinan transmisi gelombang akan hilang ,karena terabsorpsi keadaan lingkungan seperti pada penjelasan diatas.Nilai absorpsi pada gelombang berfrekuensi diatas 10^4 Hz per 1000 meter cukup signifikan yaitu >10 dB/km (Carlton,2012).Selain panjang gelombang absopsi tingkat kebisingan juga dipengaruhi kebisingan sekitar dimana kapal kita beroeperasi yaitu akibat pasang surut air, lalu-lintas kapal, seismic dasar laut, maupun hujan.



Gambar 11 Penurunan tingkat kebisingan pada frekuensi tertentu selama tranmisi (Carlton, 2012)

2.3.10 Boundary Loss

Kehilangan batas (*boundary*) terjadi akibat perbedaan medium sumber dan medium rambat . Misalnya gelombang suara yang di transmisikan kapal selam mencapai permukaan. Ketika sampai di permukaan gelombang akan di pantulkan dan di teruskan (pembiasan) ke udara. Nilai ini didekati dengan hukum snell



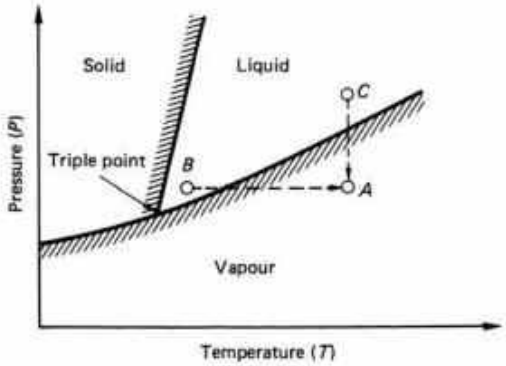
Gambar 12 Hukum Snell

2.3.11 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 celcius.

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 suhu terhadap tekanan sebagai berikut:



Gambar 13 Tekanan Terhadapan Suhu

(Carlton, 2012)

Apabila suatu keadaan benda B ataupun C dengan salah satu suhu atau tekanan menurun dibawah garis terjadinya vapor makan disitu akan terjadi gemlembung 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 berasarkan 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.

c. Kavitasi model

Menurut Lucian Hanimann (2016:3) *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 (2000:849-875) dimana pada pemodelan kavitasi ini yaitu sheet kavitasi. Perubahan dari vapor ke liquid adalah Re, dan Rc adalah perubahan liquid ke vapor:

$$Re = \frac{C_{\text{dest}}\, \rho_{\text{v}}\, \alpha_{\text{l}}\, min\,[0, p - p_{\text{Sat}}]}{\rho l \frac{U_\infty{}^2}{2} t_\infty}$$

$$Rc = \frac{C_{\text{prod}}\, \rho_{\text{v}}\, \alpha_{\text{l}}{}^2\, (1 - \alpha_{\text{l}})}{t_\infty}$$

Dimana :

(2-5)

Cdest = 1000 Cprod = 1000

U∞ adalah kecepatan free stream and $\rho l \frac{U_\infty{}^2}{2} t_\infty$ waktu free stream biasanya didefinisikan sebagai d/U∞ dengan d sebagai sekala panjang ada *body diameter*.

2.*Merkle*

Menurut CL Merkle (2006) dimana model ini digunakan:

$$Re = k_{\text{v}} \frac{\rho_{\text{v}}\, \alpha_{\text{l}}}{t_\infty} \underbrace{min\left[1, \max\left(\frac{p_{\text{Sat}} - p}{k_{\text{p}}\, p_{\text{v}}}, 0\right)\right]}_{f}$$

$$Rc = kl \frac{\rho_{\text{v}}\, \alpha_{\text{v}}}{t_\infty} \underbrace{min\left[1, \max\left(\frac{p - p_{\text{Sat}}}{k_{\text{p}}\, p_{\text{v}}}, 0\right)\right]}_{f}$$

(2-6)

3.*Schnerr-Sauer-Yuan*

Menurut Jürgen Sauer (2001:383-394) dimana model ini digunakan untuk bubbles:

$$Re = \frac{\rho_{\text{v}}\, \rho_{\text{l}}}{\rho} \alpha_{\text{v}} (1 - \alpha_{\text{v}}) \frac{3}{R_{\text{b}}} \sqrt{\frac{2}{3} \frac{p_{\text{Sat}} - p}{\rho_{\text{l}}}}$$

$$Rc = \frac{\rho_{\text{v}}\, \rho_{\text{l}}}{\rho} \alpha_{\text{v}} (1 - \alpha_{\text{v}}) \frac{3}{R_{\text{b}}} \sqrt{\frac{2}{3} \frac{p - p_{\text{Sat}}}{\rho_{\text{l}}}}$$

(2-7)

Dengan R_{b} sebagai radius gelembung:

$$R_{\text{b}} = \left(\frac{\alpha_{\text{v}}}{1 - \alpha_{\text{v}}} \frac{3}{4\pi n}\right)^{1/3}$$

(2-8)

Konstanta yang harus ditentukan adalah jumlahnya gelembung uap per volume cairan (n). dengan nilai 1.510^{14} nuclei/m^3.

Dari ketiga model diatas, untuk memperkirakan nilai kebisingan dapat dilakukan dengan prediksi *Schnerr-Sauer-Yuan* yang mana perhitungan tersebut berdsarkan bubbles cavitation. Bubbles cavitation dapat menyebabkan kebisingan dikarenakan letupan – letupan kecil yang terjadi ketika kavitasi.

2.3.12 Skala Logaritmik dan Intesitas Level

Skala yang digunakan dalam menentukan tingkat kebisingan merupakan bilangan logaritmik sehingga besarnya kenaikan 1 dB menyatakan kebisingan 10 kali semula.Untuk menentukan Intensitas gelombang didapat melalui persamaan :

$$I = P^2 / 2\,\rho c \qquad (2\text{-}9)$$

dimana,
P = Tekanan (Pa)
ρ = massa jenis (kg/m^3)
c = kecepatan gelombang (m/s)

Untuk menentukan *Sound Pressure Level* (SPL) dari gelombang suara ,yaitu :

$$L = 20\ \mathrm{Log}_{10}\ (I/Io)$$

Atau

$$L = 20\ \mathrm{Log}_{10}\ (P/Po) \qquad (2\text{-}10)$$

dimana,
I = Intesitas gelombang (W/m^2)
Io = Intesitas acuan (W/m^2)

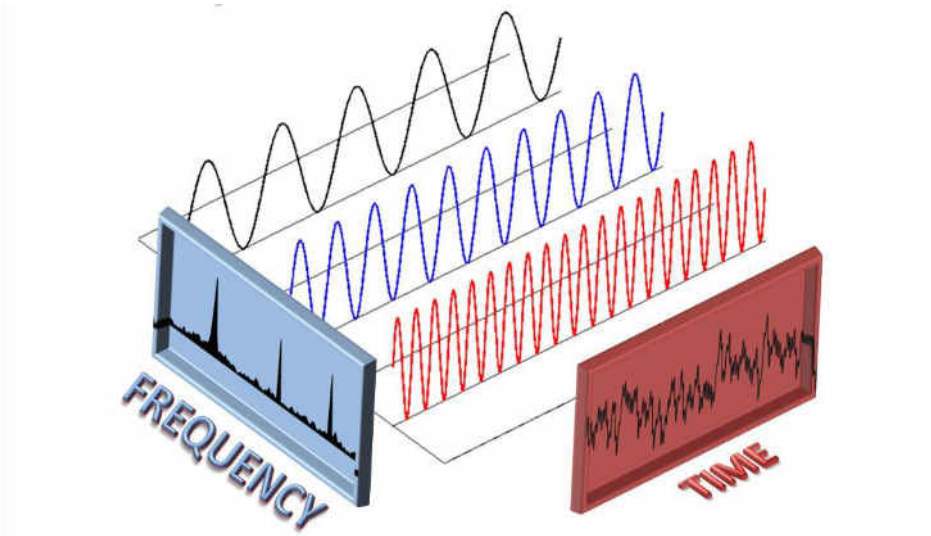
Nilai tekanan yang dijadikan acuan dalam menghitung intesitas acuan (Io) adalah $1x10^6$ Pa dengan kecepatan suara di air sebesar 1500 m/s sehingga nilai Intesitas acuannya sebesar 6.67 x 10^{-19} W/m^2. Menentukan nilai intensitas acuan ini penting karena nilai yang umum digunakan sebesar 1.10^{-12} W/m^2 merupakan nilai yang hanya berlaku di udara, yang mana massa jenisnya, ρ =1.21 kg/m^3 dan kecepatan rambat suara ,c = 343 m/s. Kesalahan menentukan Intensitas acuan akan menghasilkan nilai Kebisingan/ *Sound Pressure Level* (SPL) yang dicari berbeda sangat jauh.

Dalam menuliskan hasil pengukuran kebisingan harus mencantumkan tekanan yang menjadi acuan. Seperti sebagai berikut :

$$SPL = 50\ dB_{\ re\ 1\ \mu Pa}$$

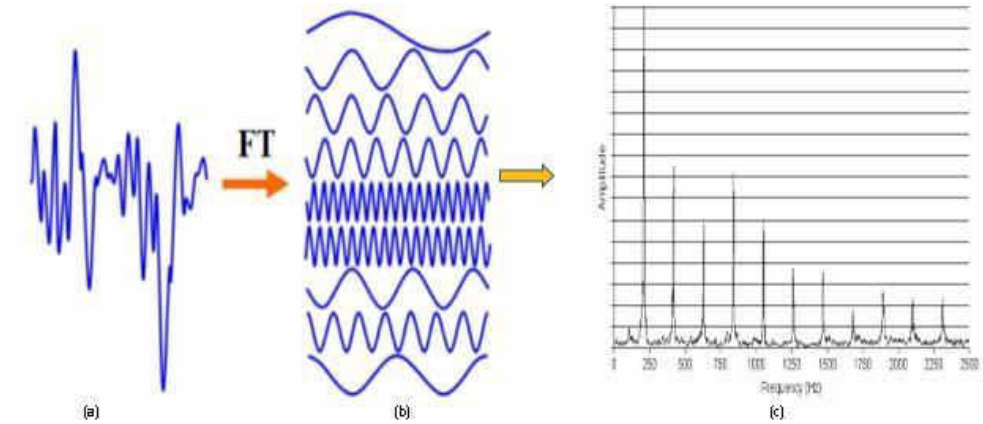
2.3.13 Fast Fourier Transform

Gelombang akustik yang di transmisikan oleh kapal selam dalam bentuk kebisingan merupakan gelombang yang kompleks. Untuk memudahkan analisa diperlukan FFT untuk mengubah gelombang dari domain waktu ke domain frekuensi, sehingga dapat diketahui fase gelombang serta frekuensi mana saja yang dominan dan ini menjadi pijakan dalam merancang sistem filter gelombang.



Gambar 14 Domain waktu dan domain frekuensi

Untuk gelombang yang periodik dapat diselesaikan dengan deret fourier biasa, namun untuk gelombang non periodik diselesaikan menggunakan DFT (*Discrete Fourier Transform*). DFT dengan TFT secara prinsip sama, yang membadakan hanya DFT digunakan pada frekuensi yang terbatas, dikarenakan keterbatasan piranti pemroses. Prinsip DFT/TFT yaitu mengubah sinyal gelombang analog menjadi dikret/terpisah-pisah dalam domain waktu, lalu diubah ke domain frekuensi



Gambar 15 a) Gelombang awal domain waktu ; b) dikret gelombang; c) gelombang domain frekuensi

Secara umum bentuk persamaan sinusoidal FFT yaitu :

$$x(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \sin\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) + j \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) .. \qquad (2\text{-}11)$$

Dimana,
x(n) : koefisien sinus dan cosinus pada 2π k/N,
k : indeks dari frekuensi pada frekuensi ke-N
n : indeks waktu,
x(k) : adalah nilai dari spektrum ke-k (domain frekuensi)
x(n) : adalah nilai sinyal pada domain waktu.

2.4 Metode Computational Fluid Dynamic (CFD)

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

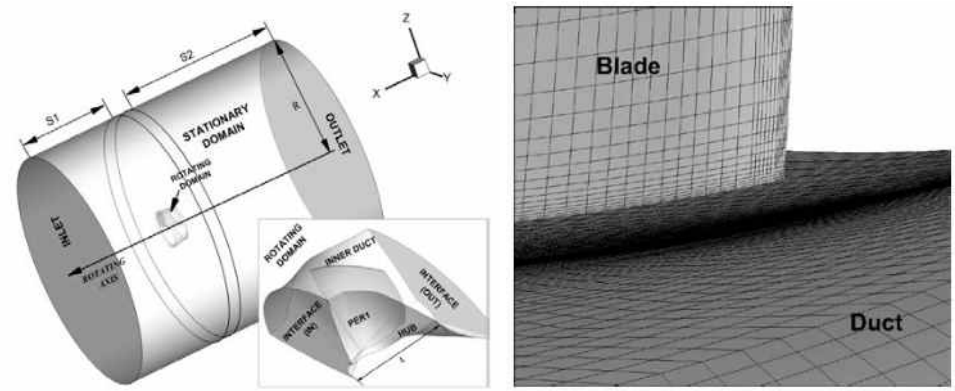
Sejarah CFD berawal pada tahun 60-an dan mulai terkenal pada tahun 70-an, awalnya pemakaian konsep CFD hanya digunakan untuk aliran fluida dan reaksi kimia, namun seiring dengan berkembangnya industri di tahun 90-an membuat CFD makin dibutuhkan pada berbagai aplikasi lain. Contohnya sekarang ini banyak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

- Aliran dan panas.
- Transfer massa.
- Perubahan fasa.
- Reaksi kimia seperti pembakaran.
- Gerakan mekanis seperti piston dan fan.
- Tegangan dan tumpuan pada benda solid.
- Gelombang elektromagnet

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

a. 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 16 Penentuan *Boundary Condition* dan *Meshing*

b. 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.

c. Post Processor

Tahap terakhir adalah tahap *post processor*, hasil dari perhitungan pada tahap *processor* akan ditampilkan dalam gambar, grafik maupun animasi. Pada tahap ini dilakukan solver ulang untuk merubah domain iterasi menjadi domain frekuensi. Hal ini dapat dilakukan dengan persamaan yang diberikan oleh Ffowcs William (1959) dalam jurnal yang berjudul *Hydrodynamic Noise*. Persamaan ini merupakan pengembangan dari analogi akustik yang diperkenalkan oleh Lighthill. Menurut Bretner dan farassat, persamaan ini awalnya digunakan dalam simulasi kebisingan di udara, namun memungkinkan dapat digunakan dalam simulasi kebisingan di dalam air. Persamaan FWH didapatkan dari penurunan persamaan kontinuitas dan persamaan navier-stokes.

$$\nabla^2 p'(X,t) = \frac{\partial^2}{\partial xi \partial xj}\left[\sigma_{ij} H(f)\right] - \frac{\partial}{\partial xi}\left[L_i \delta(f)\right] + \frac{\partial}{\partial t}\left[\rho_0 U_n \delta(f)\right];$$

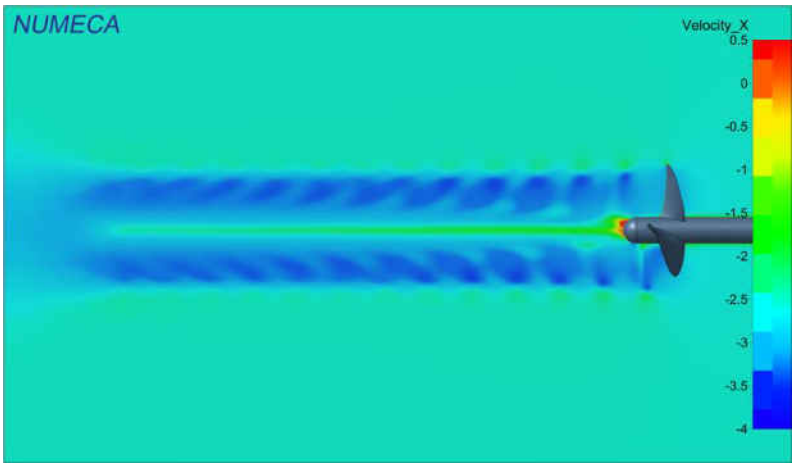
$$U_n = \left(1 - \frac{\rho}{\rho_0}\right) v_n + \frac{\rho u_n}{\rho_0};$$

$$Li = p\delta_{ij} + \rho u_i\,(u_n - v_n);$$

$$u_n = u_{ni} n_i\, J(U,V) = \sum_{k=1}^{n}\sum_{i=1}^{c} (u_{ik})^m D(x_k, v_i)^2 \qquad (2\text{-}12)$$

Dimana ;
ui = Kecepatan searah sumbu-x
un = Kecepatan normal terhadap permukaan
vi = Kecepatan local permukaan searah sumbu-x
vn = Kecepatan local permukaan normal terhadap permukaan
H(f) = Fungsi Heaviside
δ(f) = Dirac Delta

Menurut Mousavi *et al.* (2014), bagian kanan dari persamaan FWH terdiri dari : bagian pertama digunakan untuk analisa *monopole noise*,persamaan kedua untuk *dipole noise* ,dan persamaan ketiga untuk *quadrapole noise.* Namun pada software Fine Turbo hanya terdapat perhitungan hingga Dipole Noise. Sehingga hasil frekuensi yang didapatkan lebih sedikit.



Gambar 17 Analisa Aliran pada CFD

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 dibilang jauh lebih mendalam dibandingkan dengan prototype

b. Prediksi Menyeluruah

Dengan simulasi CFD kita dapat mengubah parameter yang ada melihat hasilnya, mengubahnya lagi hingga didapat kondisi yang d2nginkan sebelum dibuatnya protipe fisik. Jadi, dalam waktu yang sama kita dapat melalukan 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. Effisiensi

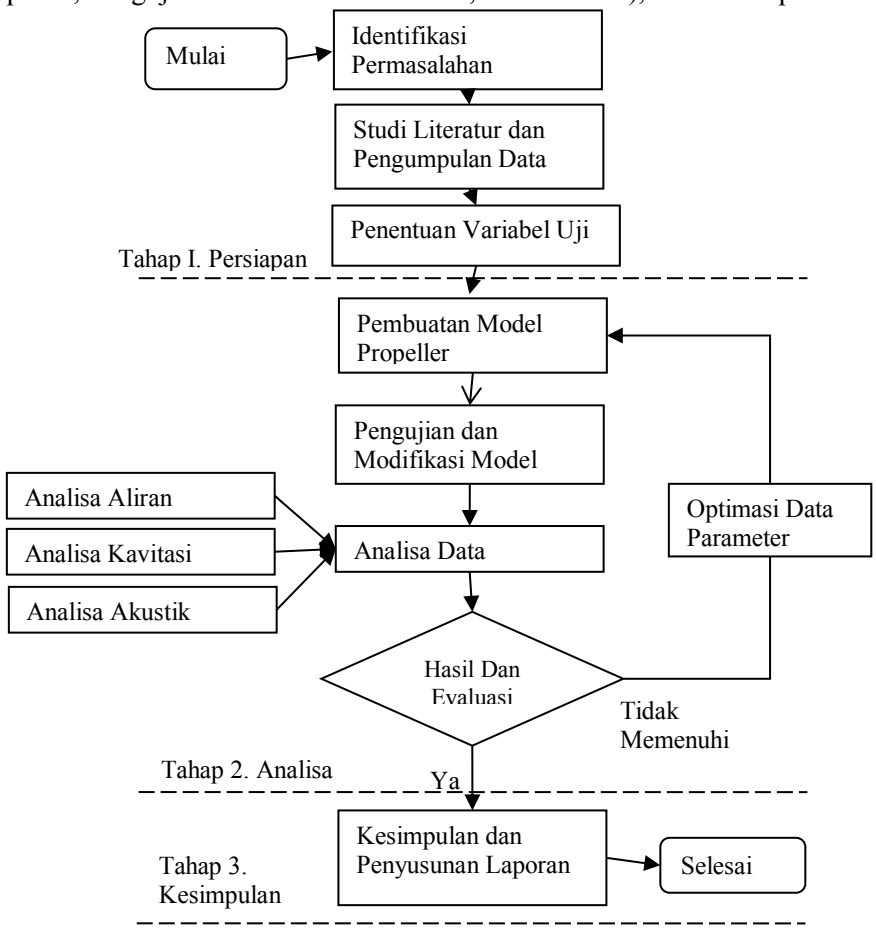
CFD adalah tools untuk mempersingkat siklus design dan pengembangan dari suatu produk. Sehingga didapatkan design cycle yang singkat, biaya yang murah dan waktu yang singkat yang akan berhubungan dengan effisiensi yang juga akan meingkat.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB III
METODOLOGI

3.1 Metodologi Penelitian

Penyelesaian masalah pada penelitian ini maka digunakan metode *Computational Fluid Dynamics*. Desain pengerjaan penelitian dapat dilihat dalam *flow chart* dibawah. Proses pengerjaan penelitian dibagi dalam 3 tahapan utama yaitu Persiapan (Identifikasi masalah, Studi Literatur, Pengumpulan data, Penentuan variabel uji), Analisa (Pembuatan model kapal Monohull di software, Pembuatan model Propeller, Pengujian dan modifikasi model, Analisa data), dan Kesimpulan.



Tahap I. Persiapan

Identifikasi Permasalahan

Identifikasi rumusan masalah mencakup keadaan laut, nilai turbulensi, dan properties lain yang nantinya akan digunakan untuk menentukan jenis aliran yang berpengaruh terhadap efisiensi kerja dari *Propeller* untuk memberikan nilai kebisingan.

Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan bahan referensi untuk dipelajari sebagai bahan pendukung kegiatan penelitian diantaranya adalah dengan mencari beberapa referensi buku, jurnal, paper ataupun dari internet yang berhubungan dengan karakteristik kapal selam, nilai akustik, kavitasi, vibrasi, emisi akustik dan Propeller Geometri.

Pengumpulan Data

Pengumpulan data mengenai kondisi laut yang berkaitan dengan pelayaran yang akan dilakukan kapal selam mini. Daerah pelayaran kapal dianggap pada perairan tenang yang tidak memiliki ombak lebih dari 0,5 meter.

Penentuan Variabel Uji

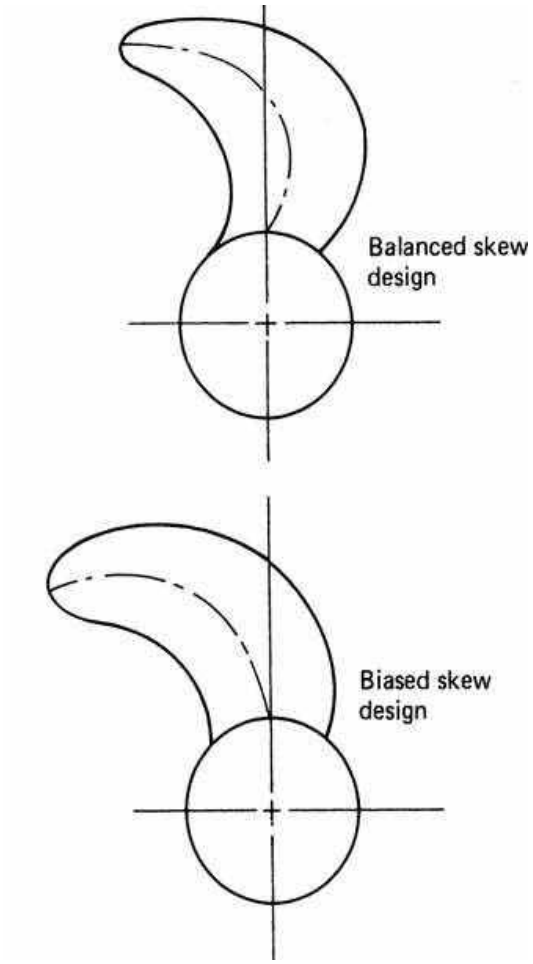
Penentuan parameter uji dalam *Computational Fluid Dynamics* meliputi :

- Variabel kontrol : Aliran pada Propeller / Kecepatan kapal selam
- Variabel bebas : Sudut Skew dan Pitch Propeller
- Variabel tetap : Aliran, kavitasi dan nilai emisi akustik

Tahap 2. Analisa

Pembuatan Model Propeller

Pembuatan model 4 jenis propeller yang digunakan sebagai acuan dari jurnal yang ada seperti B-Series dari penelitian BPPT, DTMB Propeller dari penelitian DTIC, INSEAN PROPELLER dari penelitian Iowa Research, dan Keppel Propeller pada penelitian di Technical University of Denmark. Dari keempat propeller 2 propeller kami tidak menemukan nilai geometrinya sehingga hanya ada 2 pilihan yang tersisa yaitu DTMB dan B-Series. Dari 2 propeller tersebut saya memilih DTMB propeller karena pertama bentuknya yang berdasarkan NACA 66 Mod yang lebih mudah untuk divariasi karena skew yang dibentuk merupakan Biased Skew.



Gambar 18 Skew Design

Dari propeller DTMB kami memilih DTMB 4661 karena telah digunakan untuk penelitian free surface pada kapal selam, selain itu ukuran yang identic dengan perencanaan pada tugas akhir ini. Berikut Geometri dari propeller DTMB 4661

D Propeller geometries

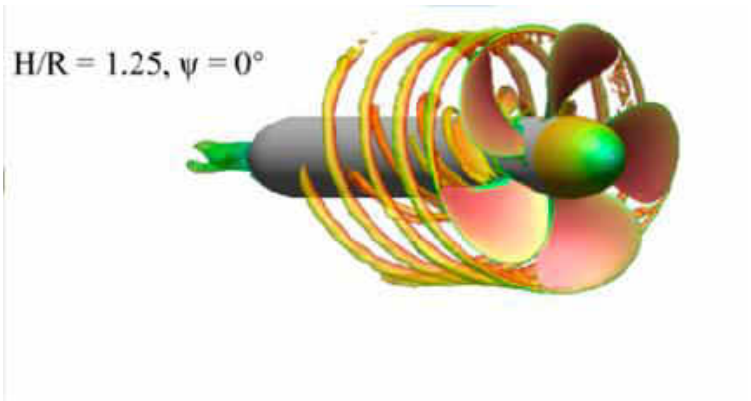
Number of Blades	: 5
Hub/Diameter Ratio	: 0.3
Section Meanline	: NACA a=0.8
Section Thickness Form	: NACA66 (Modified)
Design J_S	: 1.038

r/R	P/D	x_m/D	$skew^o$	c/D	f/c	t/D
0.30	1.165	0.0091	2.985	0.178	0.0000	0.0420
0.35	1.296	0.0103	3.481	0.210	0.0050	0.0372
0.45	1.480	0.0103	4.810	0.271	0.0209	0.0290
0.55	1.566	0.0103	6.631	0.327	0.0267	0.0226
0.65	1.566	0.0103	8.978	0.374	0.0256	0.0178
0.75	1.498	0.0103	11.895	0.406	0.0209	0.0146
0.85	1.381	0.0103	15.410	0.409	0.0151	0.0122
0.90	1.306	0.0102	17.403	0.387	0.0122	0.0110
0.95	1.222	0.0103	19.557	0.326	0.0094	0.0091
1.00	1.128	0.0102	21.876	0.000	0.0000	0.0000

Table 2: The geometry of the propeller DTMB 4661.

Gambar 19 Geometri Propeller

a. Siapkan dan sesuaikan dengan data propeller yang akan dimodelkan sesuai dengan pemilihan propeller yang sudah ditentukan sebelumnya,
   1. Propeller DTMB 4661
   2. Diameter 1.5 m



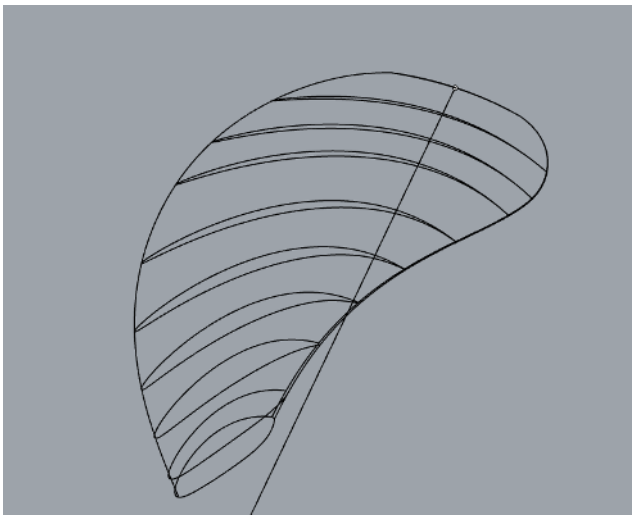
Gambar 20 Propeller DTMB 4661

b. Olah data propeller yang telah didapat dengan menggunakan trigonometri sehingga didapatkan nilai x, y, dan z, sehingga menghasilkan koordinat seperti berikut,

Tabel 1 Koordinat Yface r/R 0.3

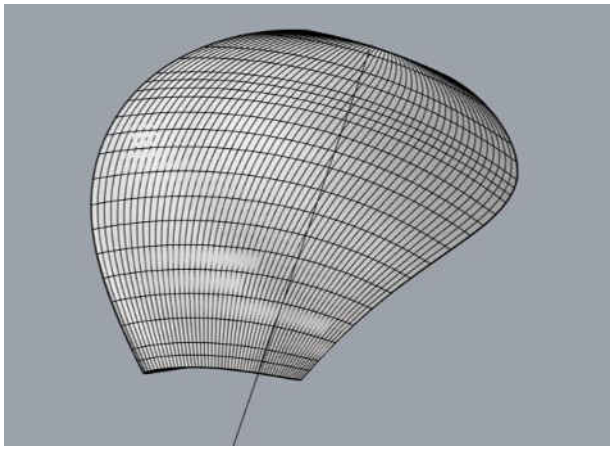
x	y	z
-0.07414	0.212433	-0.09161
-0.07009	0.213803	-0.09327
-0.06898	0.214166	-0.09336
-0.06705	0.214778	-0.0933
-0.06299	0.216003	-0.09251
-0.05605	0.217907	-0.08995
-0.04978	0.219424	-0.08679
-0.04386	0.220683	-0.08331
-0.03271	0.22261	-0.07567
-0.02214	0.223908	-0.06742
-0.01209	0.224675	-0.05863
-0.00242	0.224987	-0.04943
0.006888	0.224895	-0.03988
0.015857	0.224441	-0.03
0.024486	0.223664	-0.01982
0.032693	0.222612	-0.0093
0.040506	0.221324	0.001521
0.047919	0.219838	0.012613
0.05492	0.218194	0.023967
0.061493	0.216434	0.035573
0.06764	0.214592	0.047404
0.07333	0.212715	0.059463
0.078568	0.210837	0.071723
0.083336	0.208998	0.084174
0.087614	0.207241	0.096811
0.091406	0.205596	0.109607

c. Setelah mendapatkan koordinat, gambar kerangka berupa garis pada software rhinoceros.



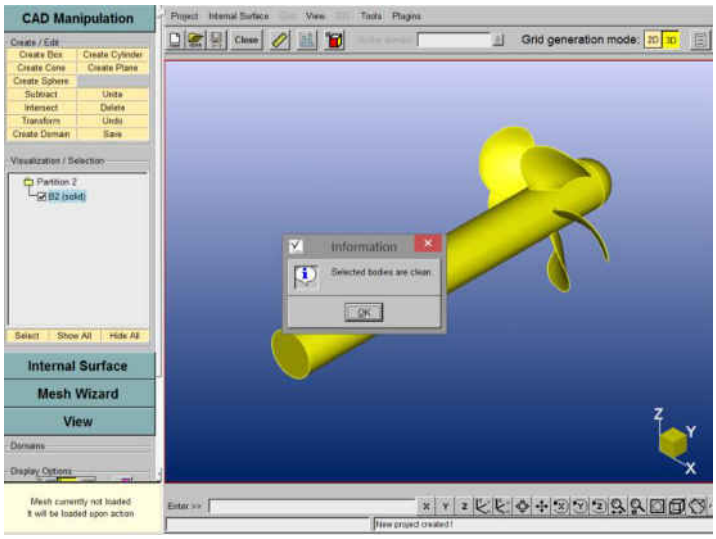
Gambar 21 Kerangka Garis Propeller

d. Setelah itu dilanjutkan pembuatan surface sehingga dihasilkan desain seperti berikut



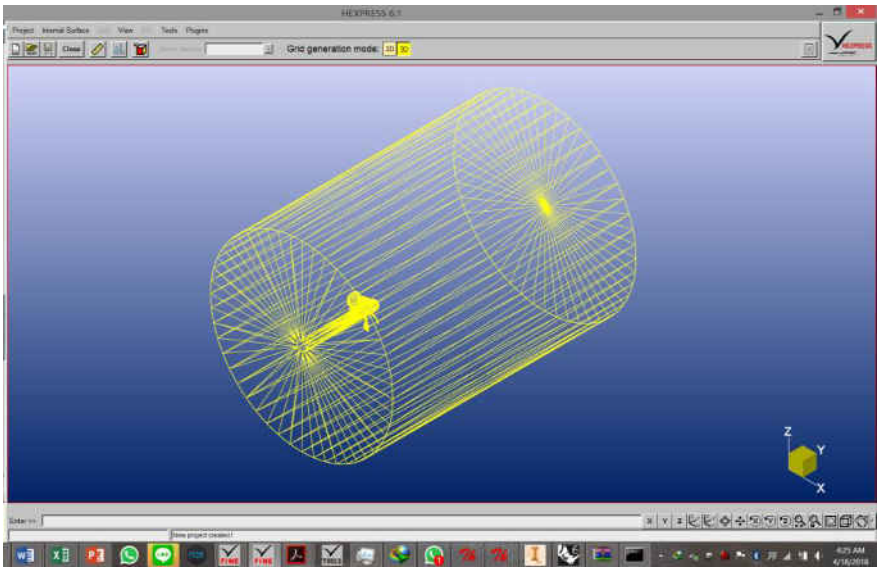
Gambar 22 Geometri Propeller Surface

e. Setelah pembuatan pada surface selanjutnya menyolidkan daun propeller menggunakan software Autodesk inventor yang selanjutnya di cek pada numeca.



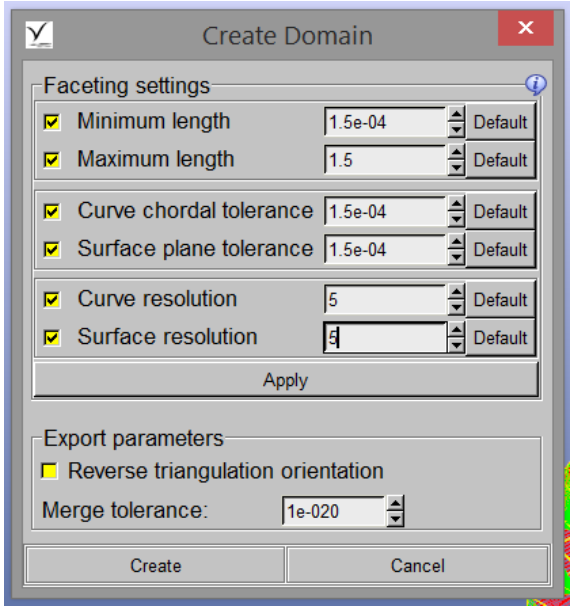
Gambar 23 Geometri Blade

f. Setelah geometri berhasil solid maka dilakukan pembentukan domain dengan sehingga menjadi seperti berikut

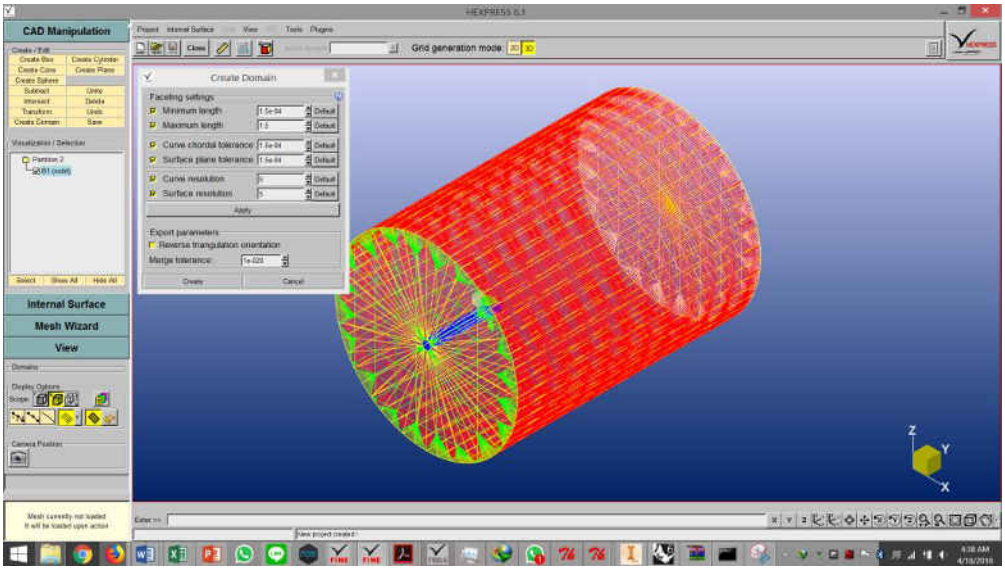


Gambar 24 Domain Fluida

g. Setelah itu kita membuat domain dengan cara create domain dengan parameter tertentu sehingga menghasilkan domain seperti berikut



Gambar 25 Parameter Domain



Gambar 26 Domain Fluida Propeller

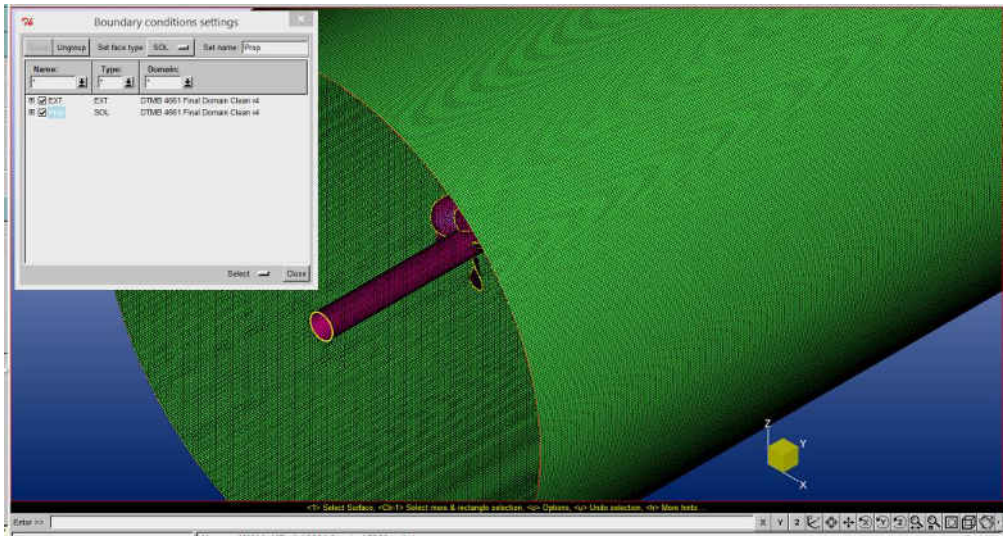
Pengujian dan Modifikasi Model

Setelah pembuatan model dikerjakan, maka langkah selanjutnya adalah pengujian model atau running. Pengujian model akan dilakukan dengan memberikan velocity advance propeller tersebut mengacu pada penelitian sebelumnya yaitu menggunakan velocity advance dengan 15 m/s dan putaran propeller dengan 600 RPM, nilai ini mengacu pada tutorial fine marine yang sama menggunakan Propeller DTMB. Model akan di running dengan parameter

tersebut dengan variasi skew. Pengujian terhadap model ini bertujuan untuk mengetahui noise 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 dapat diatur dengan boundary condition meliputi mendefinisian geometri untuk inlet, outlet, solid, external dan mirror. Pada penelitian ini bagian silinder didefinisikan dengan external dan bagian propeller dengan solid.



Gambar 27 Boundary Condition

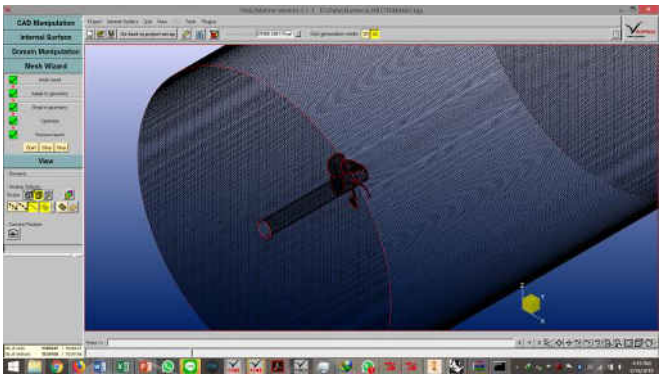
b. Meshing

Meshing merupakan suatau 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. Berikut parameter dan hasil dari meshing yang telah dilakukan sehingga mendapatkan jumlah cell sebesar 1,5 juta

Tabel 2 Mesh Parameter (Numeca Documentation)

Menu	Submenu	Geometry	Parameters
Initial mesh			4500 cells
Adapt to geometry	Global		Maximum number of refinements: 12
	Curve refinement	Blade_edges*	Maximum number of refinements: 8 Target cell size: (0,0,0) Refinement diffusion: 4 *automatically grouped 'Curve 6', 'Curve 22' and 'Curve 31'
	Surface refinement	Shaft*	Maximum number of refinements: 5 Target cell size: (5.7e-3,2.85e-3,2.85e-3) Refinement diffusion: Global *automatically grouped 'shaft_end' and 'shaft'
		Tip*	Maximum number of refinements: 9 Target cell size: (0,0,0) Refinement diffusion: 3 *automatically grouped 3 x 'tip'
		Blade*	Maximum number of refinements: 6 Target cell size: (0,0,0) Refinement diffusion: Global *automatically grouped 3 x 'pressure_side' and 3 x 'suction_side'
		Trailing_edge*	Maximum number of refinements: 8 Target cell size: (0,0,0) Refinement diffusion: 4 *automatically grouped 3 x 'trailing_edge'
	Box refinement	Sector #0	Maximum number of refinements: 8 Target cell size: (7.607e-03,7.607e-03,7.607e-03) Volumic (activated) Refinement diffusion: 2
	Trimming		xmin (inlet) and xmax (outlet) not used for trimming
Snap to geometry			Buffer insertion of Type 2 for all edges resulting from the intersection of the blades with the hub and for the edges on the outlet and inlet boundaries. For all the rest, Type I is assigned.
Optimize			Max nb of orthogonality optimization iterations: 5 Minimal orthogonality threshold: 5.0

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



Gambar 28 Hasil Mesh

c. Simulasi atau running

Geometri model yang telah selesai diberikan selanjutkan 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 di tentukan. Berikut parameter dan hasil dari running CFD.

Tabel 3 Flow Parameter (Numeca Documentation)

Physical configuration	**Sub-menu**	**Geometry**	**Parameters**
General parameters			Time configuration: Unsteady
Fluid model			Salt water at 15 degrees Celsius
Flow model			Regime/ Turbulence model: EASM Reference length: 0.152m Reference velocity: 7.16m/s
Boundary conditions	**Solid**		All: Wall-function except the shaft (slip wall)

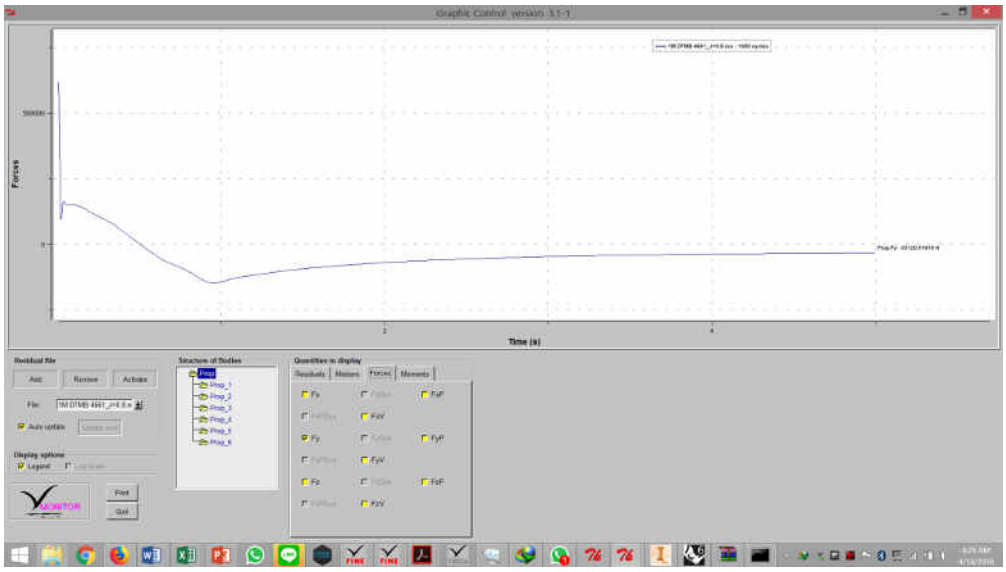
	External	xmin	Prescribed pressure, Frozen pressure
		cylinder_side, xmax	Far field Velocity Vx = -15m/s
Body definition			All solid patches are grouped together and called 'Propeller' for the body. Also, blades and the shaft are grouped in separated sub-bodies.
Body motion	**Motion definition**		Rx0 is imposed as 1/2 sinusoidal ramp. Acceleration from 0 to -62.83rad/s in 60 time steps.

Tabel 4 Physical Configuration (Numeca Documentation)

Physical configuration	**(continuation)**	
Mesh management	**Domain mesh management**	
	Source of domain rigid motion	Propeller
	Mesh displacement definition	Rigid motion: Rx0
	Rotating frame	Activate rotating frame method
Initial solution	**General settings**	Uniform values
	Initial velocity	(Vx, Vy, Vz) = (-15, 0, 0) m/s
Additional models		No additional models are used
Numerical parameters		Default values
Computation control	**Control variables**	When dealing with a simulation to reach a steady-state solution, it is enough to keep 2 non-linear iterations as well as a convergence criteria of 2 orders. When using the rotating frame approach, it is advisable to use 20 time steps per revolution.

Tabel 5 Computation Control

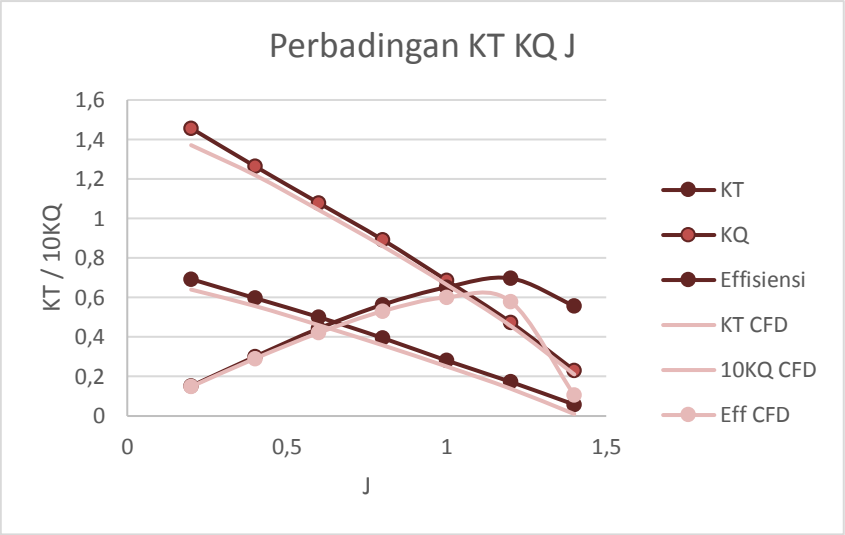
Computation control	(continuation)	
Outputs	**Motion and force variables**	Rotation variables: Rx0
	Angular velocity variables	dRx0
	Angular acceleration variables	d2Rx0
	Force decomposition	Global frame
	Optional output variables	Viscous stress (fluid to wall) Y+ Helicity Second invariant Turbulent dissipation



Gambar 29 Hasil Force

d. Validasi

Validasi harus dilakukan terhadap hasil analisa yang telah dilakukan. Hal ini dilakukan untuk memastikan data yang dihasilkan memiliki keakuratan yang baik. Validasi model dilakukan dengan cara melakukan penyamaan antara KT KQ J pada open water yang pernah dilakukan dengan Simulasi Open Water pada Numeca Fine Marine. Berikut adalah hasil validasi dari Open Water Test.



Grafik 1 Validasi KT KQ J

Tahap 3. Kesimpulan

Kesimpulan

Setelah dilakukan simulasi dan dihasilkan data mengenai nilai akustik pada setiap varisasi sudut skew dan pitch, maka selanjutnya dianalisa besar nilai noise yang paling effisien pada kapal *selam mini* yang memberikan kemampuan untuk tidak mudah terdetaksi dan ramah terhadap biota laut.

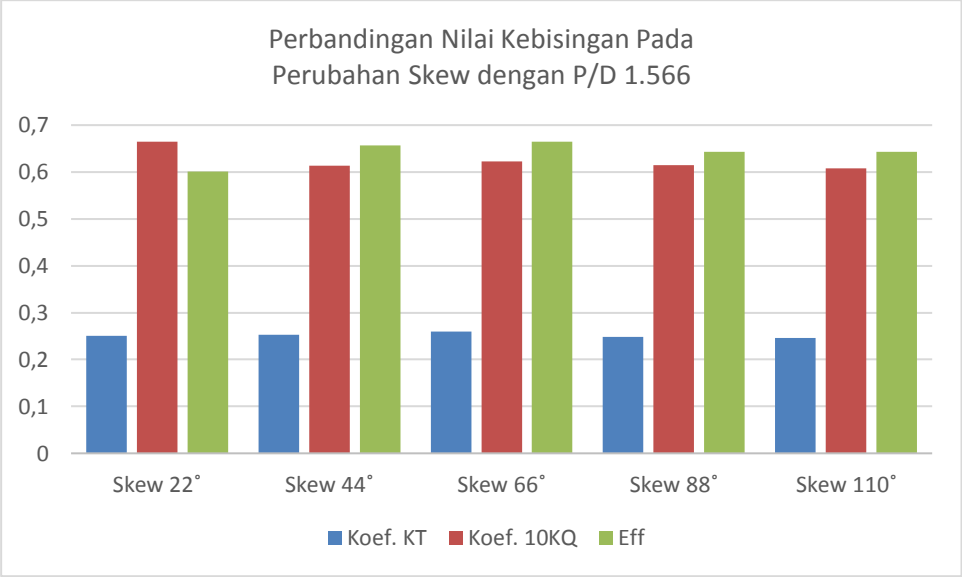
\

BAB IV
ANALISA DAN PEMBAHASAN

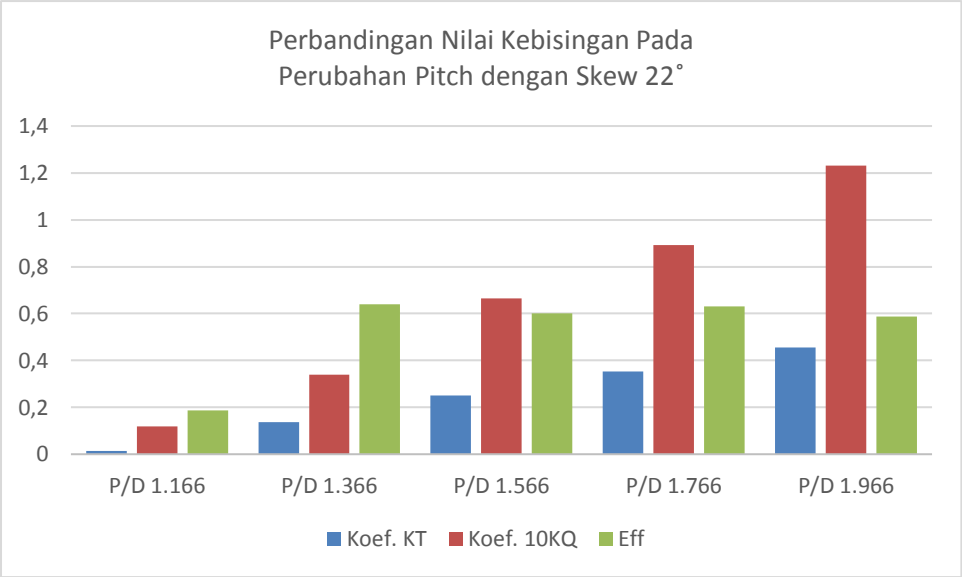
Pada bab ini dilakukan Analisa dan pembahasan dari simulasi yang telah dilakukan dengan variasi skew dan pitch. Jenis Propeller yang digunakan adalah DTMB 4661 yang sebelumnya sudah pernah dilakukan percobaan free surface dengan CFD. Validasi KT KQ J sangat diperlukan untuk mencocokkan desain yang dibuat dengan desain DTMB 4661 yang pernah dibuat. Kecepatan aliran dan parameter simulasi menggunakan pengaturan dari numeca.

4.1 Gaya Dorong dan Torsi Propeller

Setelah dilakukan simulasi dengan menggunakan Propeller DTMB 4661 dengan berbagai variasi maka kita akan mendapat nilai dari Force dan Moment pada setiap variasi, berikut hasil gaya dorong, torsi, dan efisiensi dari simulasi :



Grafik 2 Gaya Dorong dan Torsi pada variasi Skew



Grafik 3 Gaya Dorong dan Torsi pada variasi Skew

Dari hasil tersebut didapatkan nilai Thrust tertinggi terdapat pada Skew 22^0, Nilai moment Terendah pada skew 110^0, effisiensi pada perubahan skew tertinggi terjadi pada Skew 66^0. Hal ini disebabkan luas permukaan pada Skew 22^0 lebih luas dan lebih lebar sehingga gaya dorong yang dihasilkan lebih besar namun torsi yang harus diterima menjadi semakin besar. Ketika sudut skew ditambah maka permukaan propeller menjadi lebih kecil hal ini yang mengakibatkan nilai gaya dorong turun dan nilai torsi berkurang. Namun apabila ditinjau dari tingkat efisiensi propeller dengan variasi sudut skew 66^0 menjadi yang terbaik karena memiliki nilai torsi dan gaya dorong yang seimbang.

Dari hasil simulasi pada variasi pitch didapatkan semakin bertambah besar nilai pitch maka gaya dorong dan torsi juga semakin bertambah. Namun nilai effisiensi yang terbaik dimiliki pada variasi P/D 1.366 dengan besar pitch 2.05, hal ini disebabkan karena dengan nilai pitch yang sesuai maka helic yang dimiliki propeller tidak terlalu kecil dan tidak terlalu lebar.

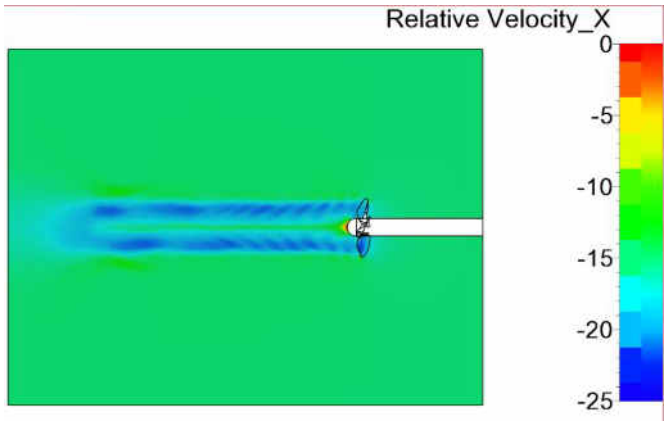
4.2 Simulasi Aliran, Kavitasi dan Kebisingan

4.2.1 Hasil Simulasi Aliran Propeller

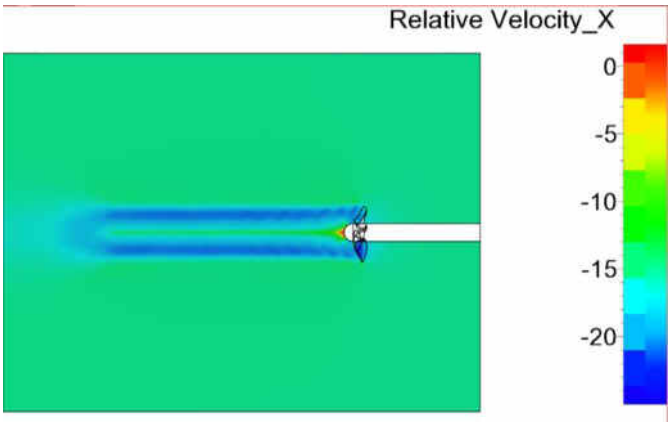
Untuk melakukan Analisa kebisingan yang terjadi terlebih dahulu dilakukan simulasi aliran, karena aliran pada fluida yang berubah dapat menyebabkan emisi akustik. Maka dari itu diperlukan perubahan aliran yang tidak signifikan. Pada simulasi Aliran digunakan turbulensi EASM, karena memiliki hasil yang lebih baik dari pada model RANS. EASM mengungkapkan fitur topologi serupa dengan LES, tetapi berbeda dalam batas zona resirkulasi. Simulasi aliran dilakukan pada semua variasi Skew dan Pitch.

4.2.1.1 Aliran pada Variasi Skew

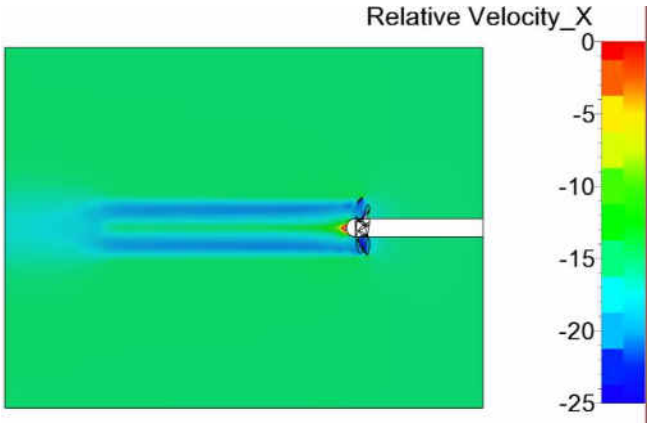
Berikut hasil aliran dari variasi Skew dengan nilai 22˚ - 110˚, dengan range kecepatan aliran 0 – 25 (minus menandakan arah aliran) :



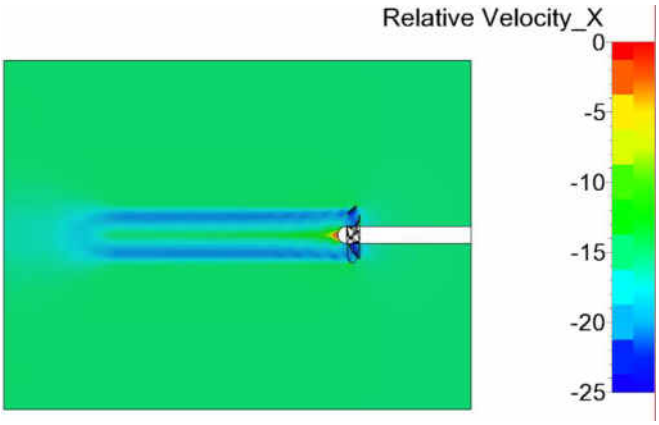
Gambar 30 Kecepatan Aliran pada Skew 22°



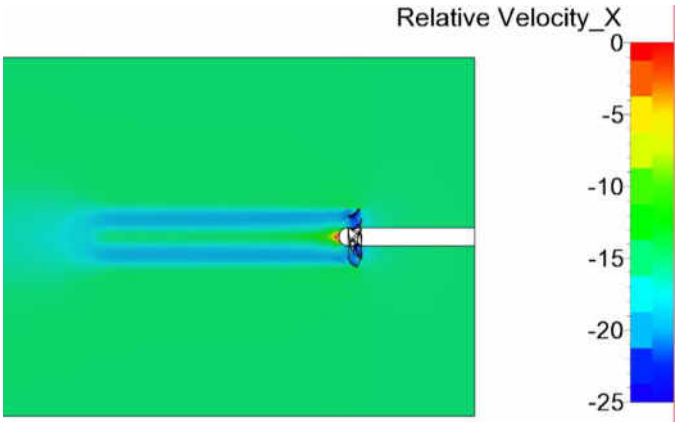
Gambar 31 Kecepatan Aliran pada Skew 44°



Gambar 32 Kecepatan Aliran pada Skew 66°



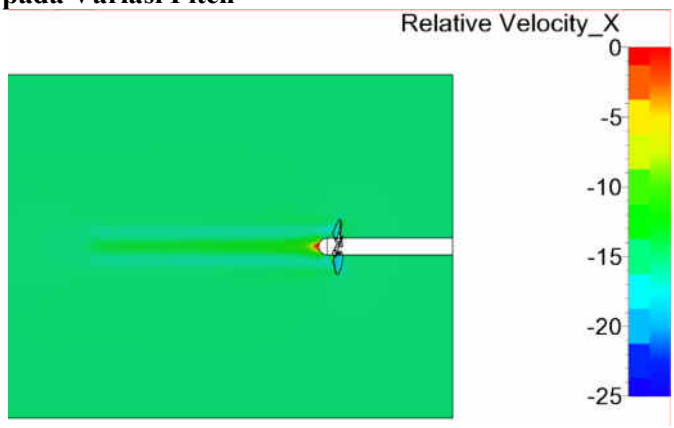
Gambar 33 Kecepatan Aliran pada Skew 88°



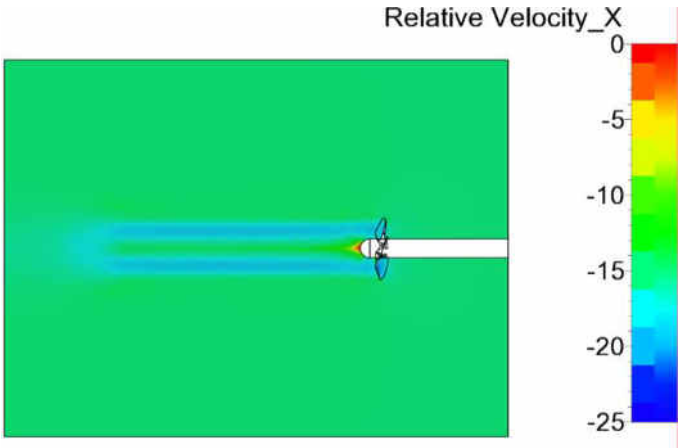
Gambar 34 Kecepatan Aliran pada Skew 110°

Pada setiap penambahan sudut skew kecepatan aliran semakin berkurang dan bentuk aliran semakin halus / rata. Seperti pada Skew 22^0 kecepatan yang dihasilkan mencapai 25 m/s dengan bentuk aliran yang tidak merata / bergelombang, sedangkan pada Skew 110^0 kecepatan aliran yang dihasilkan hanya 20 m/s dengan bentuk aliran yang yang merata / halus. Hal ini membuktikan bahwa dengan penambahan skew, maka kecepatan aliran dan bentuk aliran pada propeller juga semakin halus. Hal ini berpengaruh pada besarnya nilai kebisingan yang dihasilkan, karena semakin besar kecepatan aliran yang dihasilkan maka gesekan yang terjadi semakin besar yang mana dapat menambah nilai emisi akustik dari propeller tersebut.

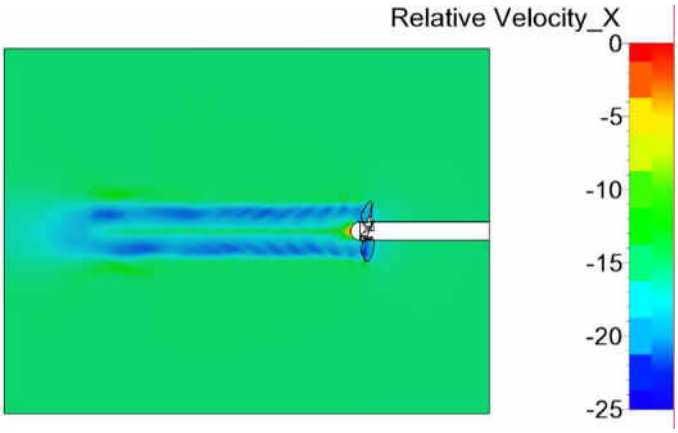
4.2.2.1 Aliran pada Variasi Pitch



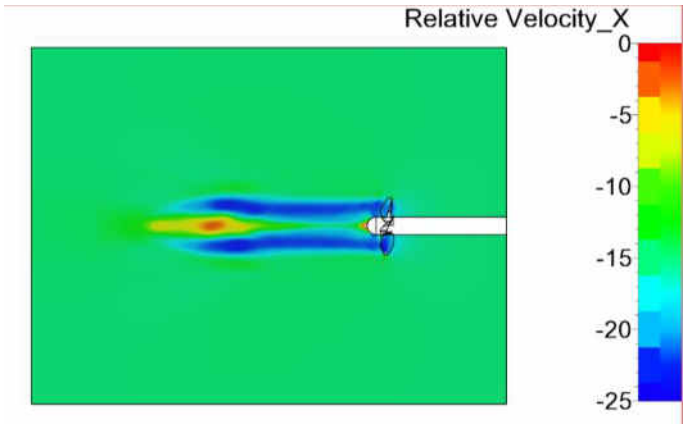
Gambar 35 Kecepatan Aliran pada P/D 1.166



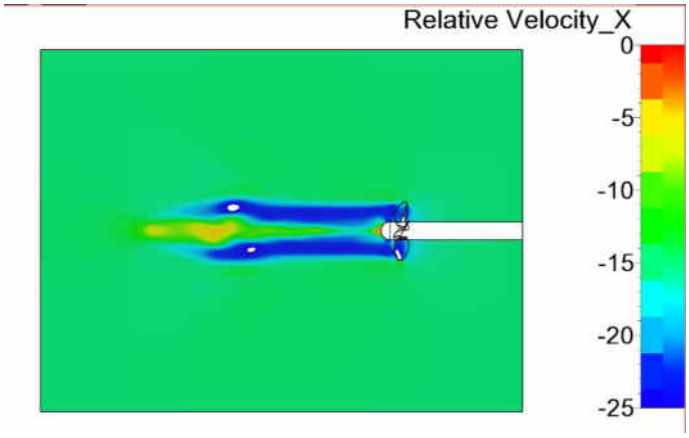
Gambar 36 Kecepatan Aliran pada P/D 1.366



Gambar 37 Kecepatan Aliran pada P/D 1.566



Gambar 38 Kecepatan Aliran pada P/D 1.766



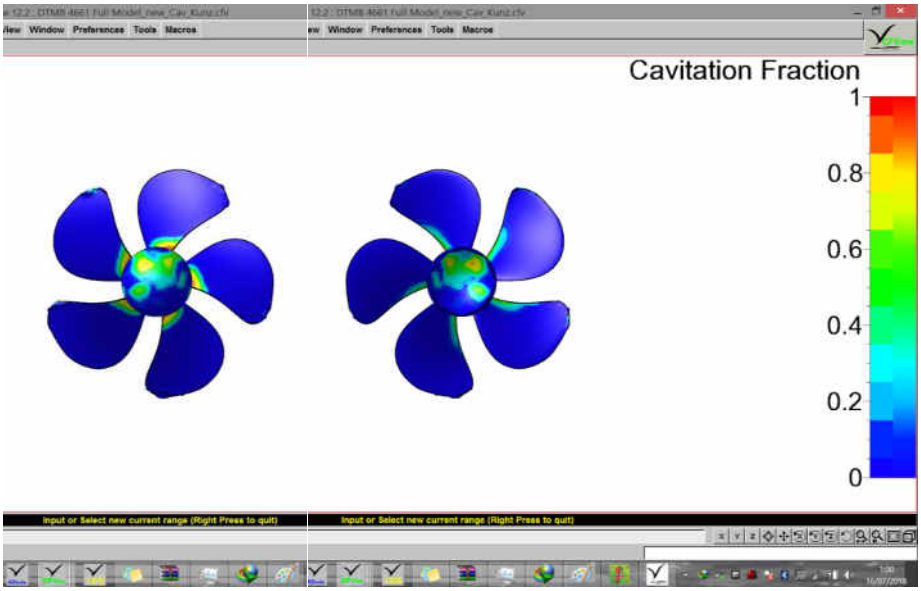
Gambar 39 Kecepatan Aliran pada P/D 1.966

Pada setiap penambahan pitch kecepatan aliran semakin bertambah dan bentuk aliran semakin bergelombang. Seperti pada P/D 1.966 kecepatan yang dihasilkan mencapai 25 m/s dengan bentuk aliran yang tidak merata / bergelombang, sedangkan pada P/D 1.166 kecepatan aliran yang dihasilkan hanya 15 m/s dengan bentuk aliran yang yang merata / halus. Hal ini membuktikan bahwa dengan penambahan pitch, kecepatan aliran bertambah dan bentuk aliran pada propeller juga semakin bergelombang. Hal ini berpengaruh pada besarnya nilai kebisingan yang dihasilkan, karena semakin besar kecepatan aliran yang dihasilkan maka gesekan yang terjadi semakin besar yang mana dapat menambah nilai emisi akustik dari propeller tersebut.

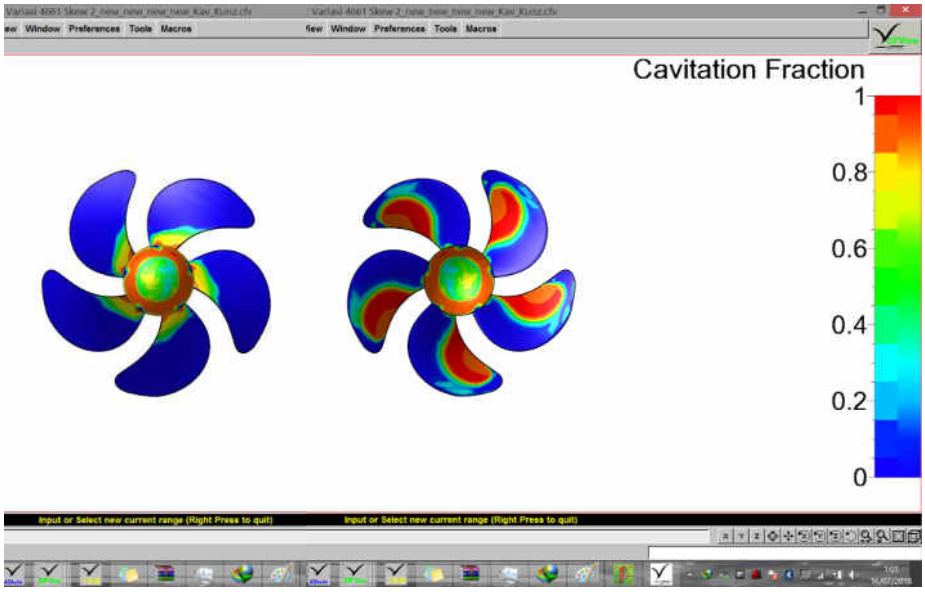
4.2.2 Hasil Simulasi Kavitasi Propeller

Pada simulasi kavitasi digunakan perhitungan EASM dengan penambahan perhitungan kavitasi Sauer karena pada perhitungan tersebut didasarkan pada bubble cavitation. Pada bubbles cavitation dapat menimbulkan pertambahan noise yang terjadi, sehingga hal ini perlu diperhitungkan dalam menganalisa kebisingan di daun propeller.

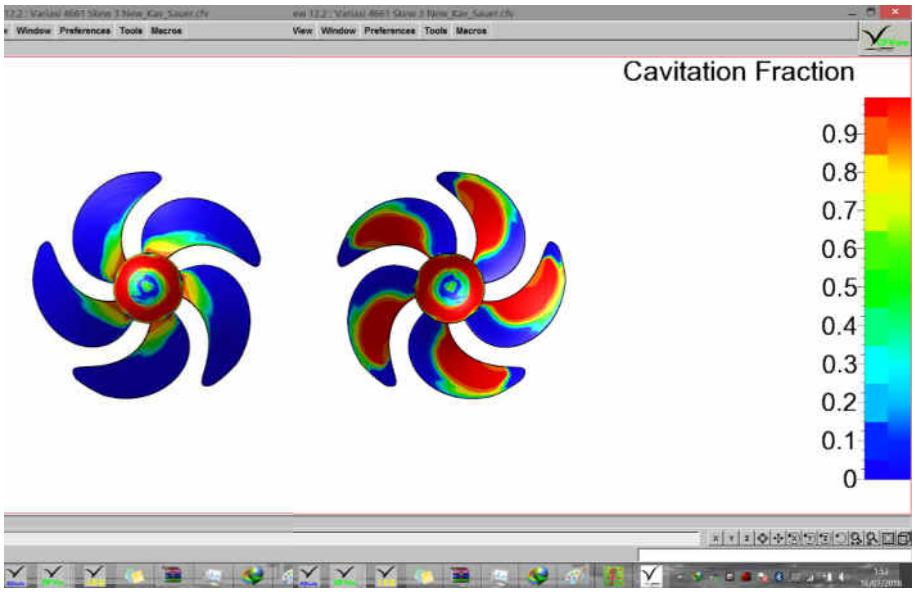
4.2.2.1 Kavitasi pada Variasi Skew



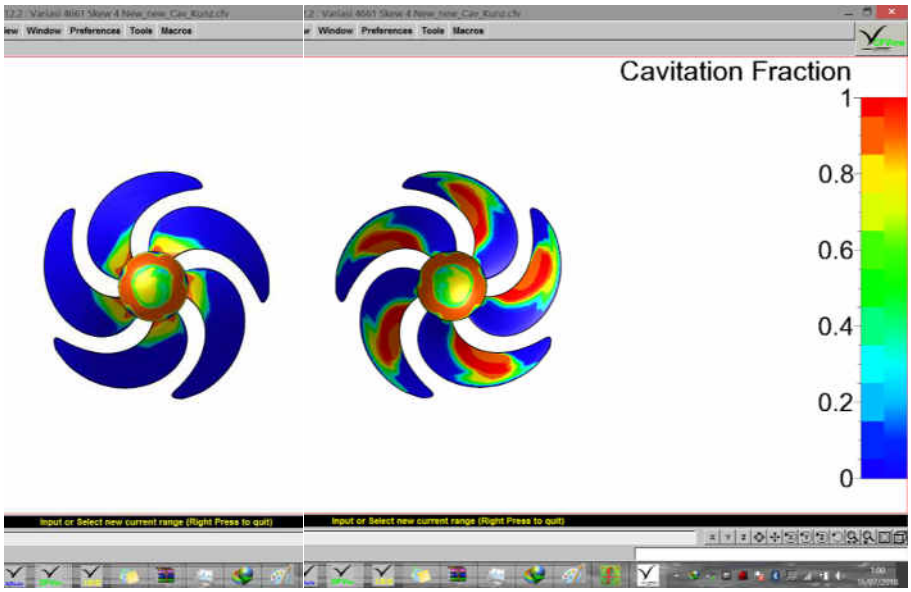
Gambar 40 Kavitasi pada Skew 22˚



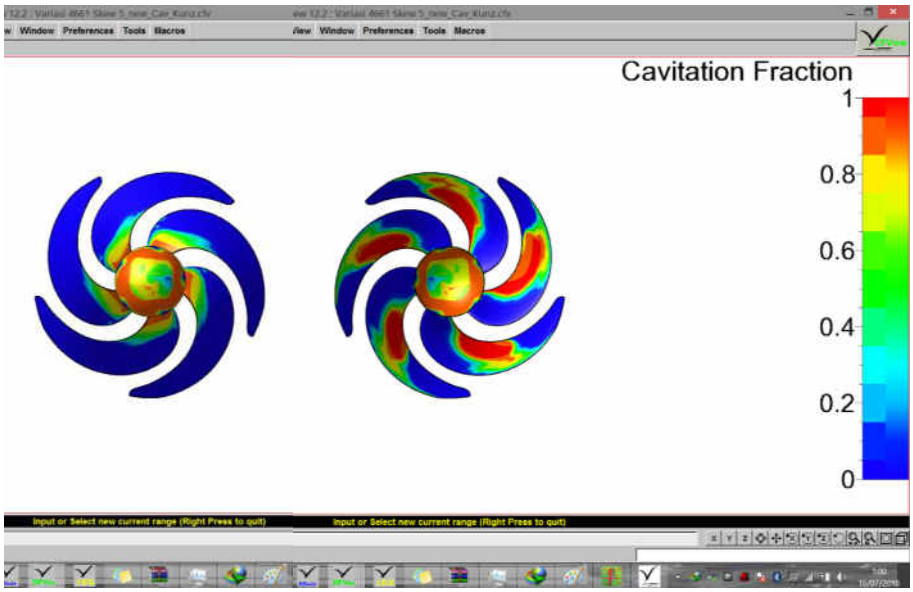
Gambar 41 Kavitasi pada Skew 44˚



Gambar 42 Kavitasi pada Skew 66˚



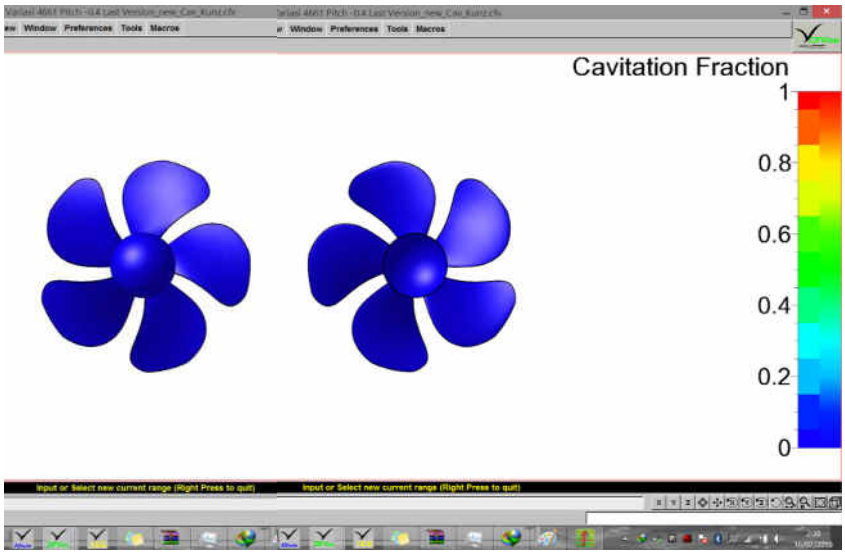
Gambar 43 Kavitasi pada Skew 88˚



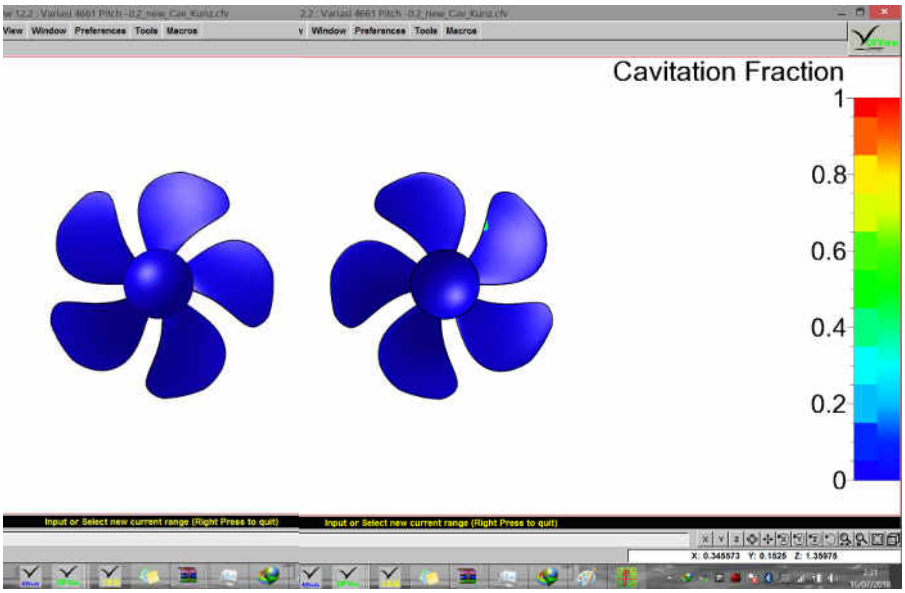
Gambar 44 Kavitasi pada Skew 110˚

Dari hasil simulasi diatas dapat disimpulkan bahwa dengan semakin bertambahnya sudut skew, kavitasi yang terjadi semakin kecil. Hal ini terjadi karena distribution pressure yang terjadi lebih rendah pada propeller yang memiliki skew besar. Distribution pressure antara face dan back propeller memiliki nilai perbandingan yang semakin kecil sehingga hal tersebut mengakbatkan minimnya nilai kavitasi pada propeller.

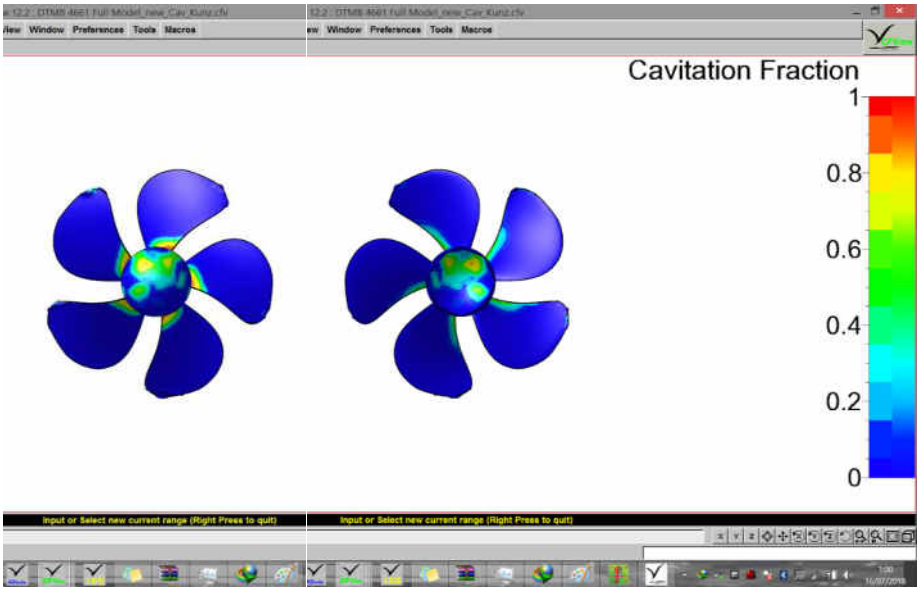
4.2.2.2 Kavitasi pada Variasi Pitch



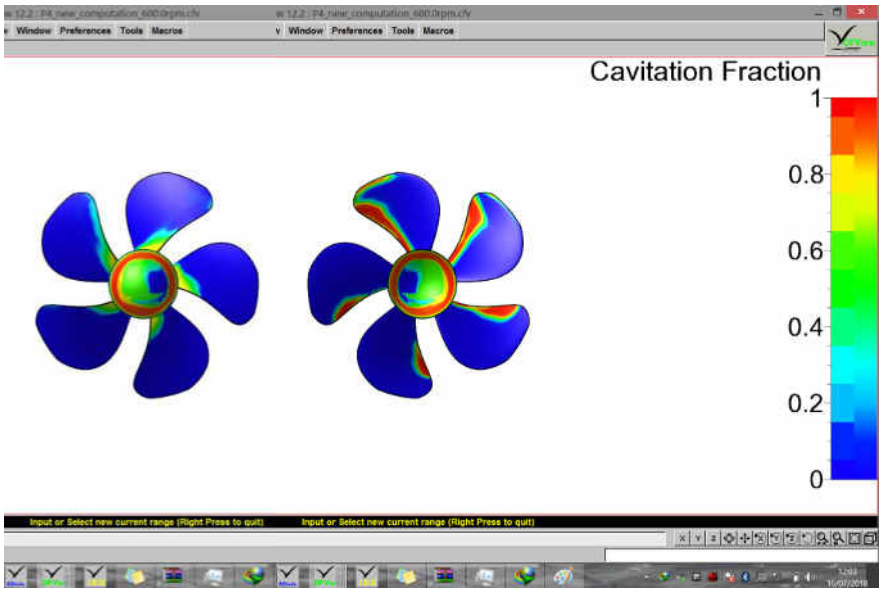
Gambar 45 Kavitasi pada P/D 1.166



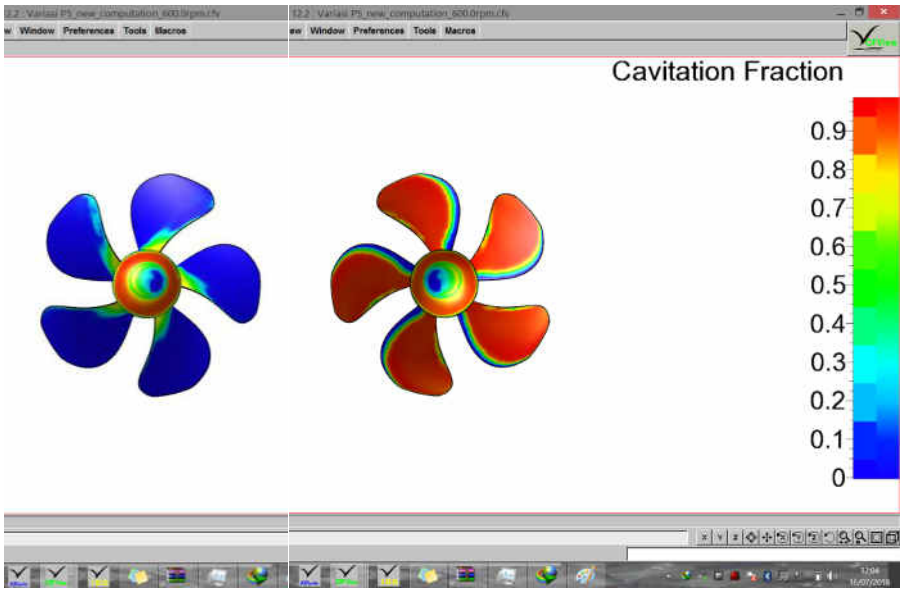
Gambar 46 Kavitasi pada P/D 1.366



Gambar 47 Kavitasi pada P/D 1.566



Gambar 48 Kavitasi pada P/D 1.766

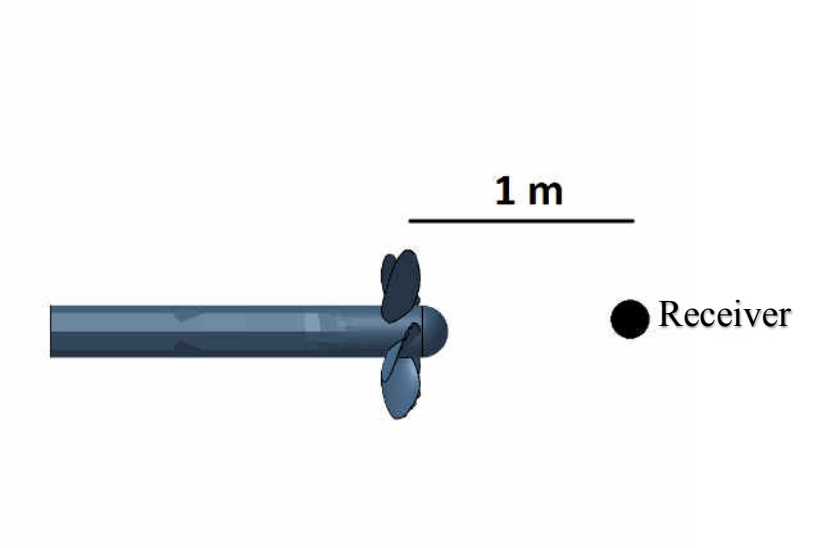


Gambar 49 Kavitasi pada P/D 1.966

Pada simulasi kavitiasi ini digunakan perhitungan dengan Model Sauer. Dengan semakin bertambahnya pitch, kavitasi yang terjadi semakin besar. Hal ini terjadi karena gaya dorong dan torsi yang dihasilkan cukup rendah pada P/D 1.166 dan P/D 1.366 sehingga distribution pressure yang terjadi juga merata pada semua sisi propeller.

4.2.3 Hasil Simulasi Kebisingan

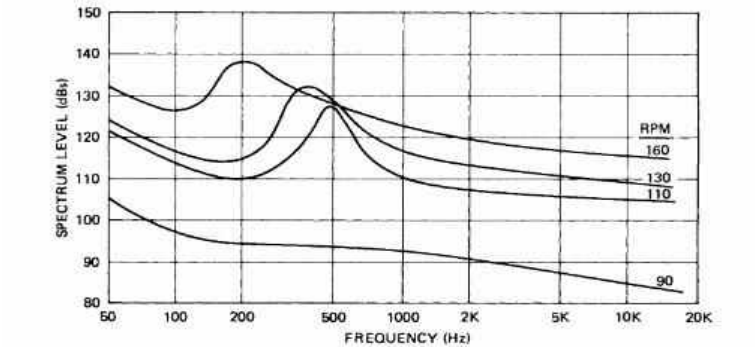
Simulasi kebisingan dilakukan setelah simulasi aliran yang diselesaikan menggunakan persamaan Navier Stokes sedangkan simulasi aliran ini di selesaikan dengan persamaan Ffowcs William Hawkings yang penjelasannya sudah tertulis di Bab 2.4. Pada simulasi ini nilai kecepatan rambat suara di air laut ditetapkan 1481 m/s dengan massa jenis air laut pada suhu 15° sebesar 1026 kg/m^3, dengan peletakan *receiver* sejauh 1 m dari sumber kebisingan dengan *pressure reference* 1 µPa. Pada Analisa kebisingan ini titik yang ditinjau (*receiver*) diletakkan 1 m dibelakang propeller seperti gambar dibawah ini :



Gambar 50 Peletakan Receiver

Hal ini dikarenakan penurunan rumus umum yang digunakan dalam perhitungan kebisingan menggunakan jarak ini, sehingga tidak diperlukan koreksi dari hasil yang didapatkan (Kowalczyk & Felicjancik, 2016). Sedangkan batas maksimal frekuensi kebisingan yang ditinjau hanya sampai 250 Hz, karena perhitungan FWH pada software Fine Turbo hanya Monopole dan Dipole.

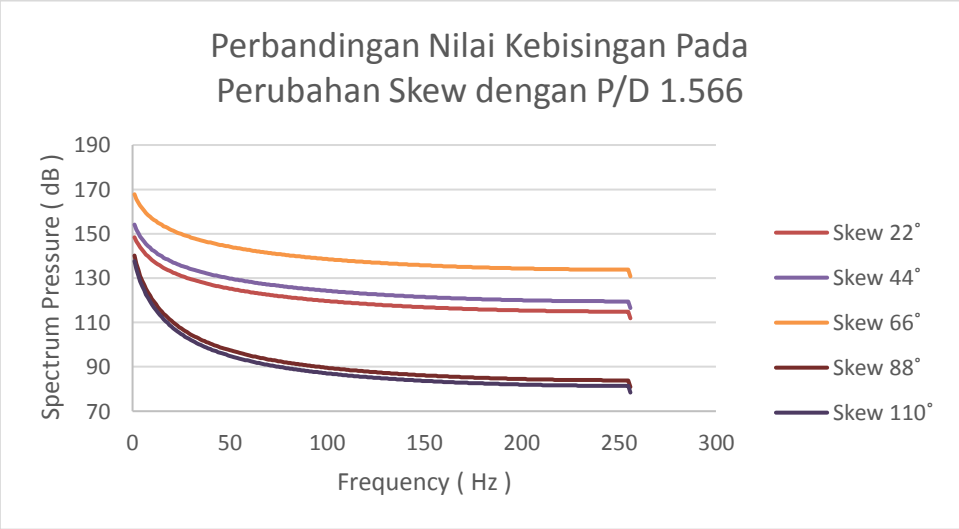
Dalam persamaan gelombang suara, besarnya amplitudo merupakan fungsi tekanan (Carley, 2015). Sehingga dalam pengukuran intensitas kebisingan/*Sound Pressure Level* merupakan fungsi tekanan. *Receiver* yang diletakkan di belakang propeller sejauh 1 m mengukur besarnya nilai perubahan tekanan, sehingga didapatkan kurva gelombang dalam domain waktu. Fluktuasi nilai amplitudo pada kurva gelombang suara domain waktu menunjukan fluktuasi tekanan. Dengan fungsi *FWH Solver* yang disediakan oleh Fine Turbo, kurva domain waktu diurai menjadi kurva sinus per frekuensi. Lalu disusun ulang menjadi kurva gelombang suara dalam domain frekuensi.



Gambar 51 Hasil pengukuran kebisingan kapal selam (Ross, 1976)

Frekuensi rendah tidak banyak tereduksi dilingkungan sebenarnya (Kellet *et al.*, 2013). Untuk memastikan kurva yang dihasilkan akurat, tren yang terjadi yaitu menurunnya nilai kebisingan sebanding dengan kenaikan nilai frekuensi dicocokkan dengan tren hasil simulasi Mousavi *et al.* (2014); Wei *et al.* (2012); dan Ozden *et al.* (2016) serta hasil pengukuran kebisingan kapal selam pada World War 2 menunjukan tren yang sama (Ross, 1976).

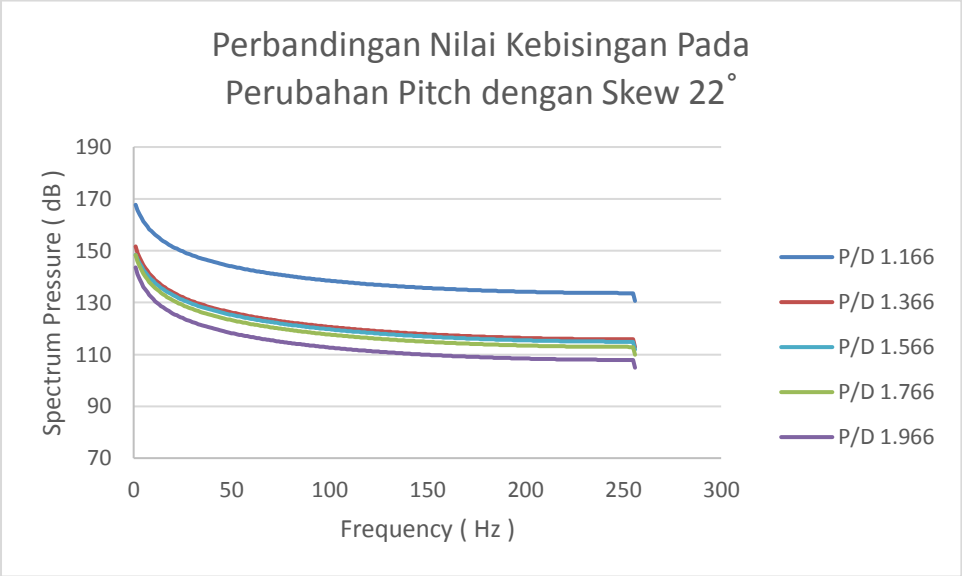
4.2.3.1 Kebisingan pada Variasi Skew



Grafik 4 Sound Pressure Level pada Variasi Skew

Berdasarkan dari grafik yang didapatkan dari hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa semakin besar sudut skew propeller Noise yang dihasil kan semakin kecil. Hal ini diakibatkan karena distribusi tekanan yang terjadi semakin merata dan semakin rendah. Dari data diatas propeller dengan skew 110^0 memiliki nilai kebisingan yang rendah yaitu sekitar 90 dB. Sedangkan kebisingan tertinggi terjadi pada Skew 66^0 yang memiliki nilai hampir 140 dB. Perbedaan yang terjadi pada hasil Skew 66˚ mungkin dikarenakan perbedaan mesh yang dilakukan.

4.2.3.2 Kebisingan pada Variasi Pitch



Grafik 5 Sound Pressure Level pada Variasi Pitch

Berdasarkan dari grafik yang didapatkan dari hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa semakin besar pitch propeller, maka nilai kebisingan yang terjadi pada propeller semakin kecil. Dari data diatas propeller dengan P/D 1.966 memiliki nilai kebisingan yang rendah yaitu sekitar 120 dB. Sedangkan kebisingan tertinggi terjadi pada P/D 1.166 yang memiliki nilai hampir 138 dB.

4.2.3.3 Tingkat Kebisingan

Dari hasil yang telah didapat melalui simulasi software, maka diperlukan validasi dengan menggunakan hasil dari penelitian yang pernah ada. Pada validasi berikut menggunakan penelitian dari Journal of Sound and Vibration dengan judul Cavitation Noise Studies On Marine Propellers. Berikut adalah hasil dari eksperimen yang telah dilakukan.

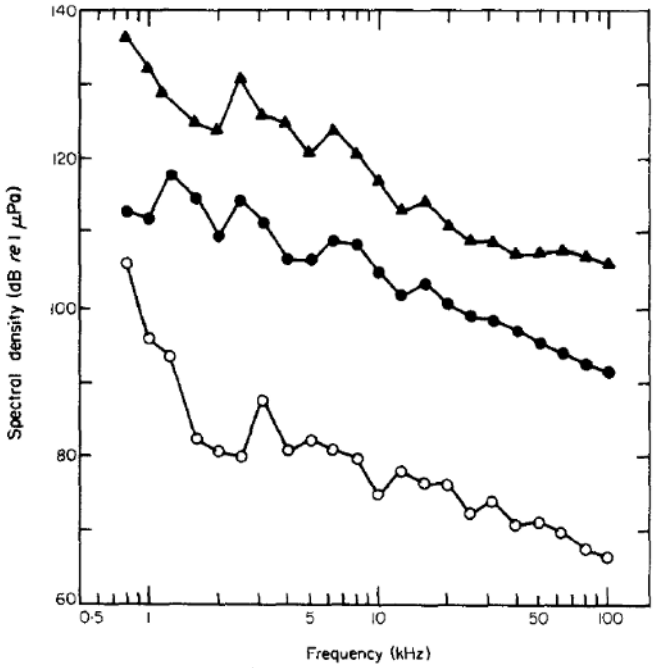
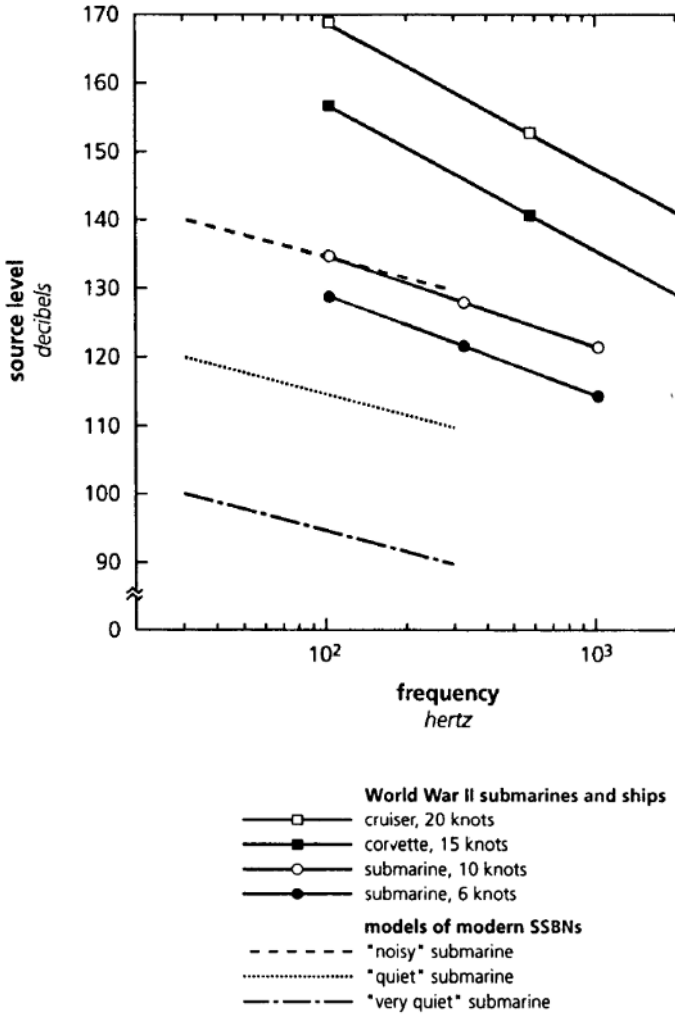


Figure 24. Comparison of propeller cavitation noise in the simulated wake and uniform flows at $J = 0{\cdot}52$, and $\sigma \simeq 21$. ▲,wake flow, $\bar{J} = 0{\cdot}52$, $\bar{\sigma} = 20{\cdot}4$,1600 rev/min; ●, uniform flow, $J = 0{\cdot}527$, $\sigma = 21{\cdot}8$; 1600 rev/min; ○, non-cavitating uniform flow, $J = 0{\cdot}52$, $\sigma = 50$.

Gambar 52 Nilai Kebisingan Propeller S. D. Sharma at el.

Dari hasil didapatkan nilai bahwa besar kebisingan yang terjadi pada peneltian tersebut sebesar 60 – 140 dB. Pada Gambar V.20 diklasifikasi berdasarkan parameter yang ditetapkan bila dibandingkan dengan hasil simulasi maka hasilnya masih memenuhi karena hasil simulasi berada di antara 90 – 170 dB. Perbedaan validasi hasil tersebut terjadi karena perbedaan diameter dan *advance coefficient* yang digunakan.



Gambar 53 Pengelompokan Jenis Kebisingan (Miasnikov, 2014)

Berdasarkan pengelompokan jenis kebisingan menurut Miasnikov (2014), kebisingan dibawah 100 dB dikategorikan sebagai sangat senyap (*very quite*), kebisingan diantara 100 – 120 dB sebagai senyap *(quiet*), kebisngan diantara 120-140 dB sebagai berisik *(noisy*) dan lebih dari 140 dB sebagai sangat berisik (*very noisy)*. Pada simulasi ini ditetapkan kecepatan aliran sebesar 15m/s dengan kecepatan putaran 600 rpm, parameter ini dilakukan ketika open water. Apabila diterapkan pada kenyataan, kapal selam hanya bergerak dengan kecepatan 8 m/s. Maka dari itu nilai kebisingan yang dihasilkan bisa lebih rendah dari pada hasil simulasi yang didapat. Dari hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa kategori kebisingan sangat senyap terjadi pada variasi skew 88˚ dan 110˚ sedangkan kategori kebisingan sangat berisik terjadi pada pada variasi pitch P/D 1.166 memiliki nilai kebisingan sangat berisik.

BAB V
KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan pada Tugas Akhir ini , dapat disimpulkan bahwa :

1. Pada variasi Skew 66˚ dan Pitch 1.75 dihasilkan nilai effisiensi gaya dorong dan torsi terbaik
2. Semakin besar nilai skew, aliran propeller yang terjadi semakin kecil dan semakin besar nilai pitch, semakin besar nilai aliran propeller
3. Kavitasi yang terjadi pada skew 110˚ adalah yang terkecil sedangkan pada P/D 1.566, propeller tidak menghasilkan kavitasi
4. Nilai kebisingan pada kecepatan 15 m/s yang diperoleh dari simulasi, yaitu untuk skew 66˚ diperoleh nilai kebisingan tertinggi sebesar 140 dB 1μPa dan kebisingan terendah sebesar 90 dB 1μPa pada nilai skew 110˚ pada variasi skew, sedangkan untuk variasi pitch diperoleh nilai kebisingan 145 dB 1μPa pada P/D 1.166 untuk yang terbesar dan terkecil pada P/D 1.966 dengan nilai 120 dB 1μPa.

5.2. Saran

Adapun saran untuk simulasi lebih lanjut yaitu :

1. Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dibutuhkan spesifikasi computer yang lebih tinggi untuk menambah jumlah cell pada simulasi CFD.
2. Diperlukan validasi nilai kebisingan terhadap hasil yang telah dilakukan dengan menggunakan metode CFD untuk hasil yang lebi valid.
3. Variasi propeller bisa lebih dikembangkan dengan jenis propeller yang lain.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR PUSTAKA

Carley, M. (2015). *Acoustics*. United Kingdom: University of Bath.

Carlton, John. 2007. *Marine Propeller And Propulsion*, Oxford, Elsevier Ltd.

Endang Widjiati, "Rancang bangun dan uji akustik propeller kapal selam mini", proseding Insinas, 2012.

Huda W, Rizkhal. 2011. *Analisa Pengaruh Skew Angle Terhadap Performa Propeller Dengan Pendekatan CFD, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Perkapalan ITS : Surabaya*

Kellet, P., Turan, O., & Incecik, A. (2013). A Study of Numerical Ship Underwater Noise Prediction. *Ocean Engineering ,Elsevier*, 113-120.

Kowalczyk, S., & Felicjancik, J. (2016). Numerical and Experimental Propeller Noise Investigations. *Ocean Engineering ,Elsevier*.

Kusuma, Cahya dan I Made Ariana. 2017. "Studi Numerik Optimasi Propeller Kapal Selam 29 meter Dengan Menggunakan High Skew" dalam *R.E.M (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal Vol. 2 No. 1*. Surabaya: Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Miasnikov, E. (1994). Can Russian Strategic Submarines Survive at Sea ? The Fundamental Limits of Passive Acoustics. *Science & Global Security*, 213-251.

Mousavi, B., Rahrovi, A., & Kheradman, S. (2014). Numerical simulation of tonal and broadband hydrodynamic noises of non cavitating underwater propeller. *Polish Maritime Research*, 44-53.

Ozden, M. C., Avci, A. G., & Korkut, E. (2012). A Numerical Study on Prediction of Noise Characteristics Generated by a Propeller. *International Conference on Hydrodynamics* . St. Petersburg,Rusia.

Ozden, M. C., Gurkan, A. Y., Ozden, Y. A., & Canyurt, T. G. (2016). Underwater Radiated Noise Prediction for a Submarine Propepeller in Different Flow Conditions. *Ocean Engineering , Elsevier*, 488-500.

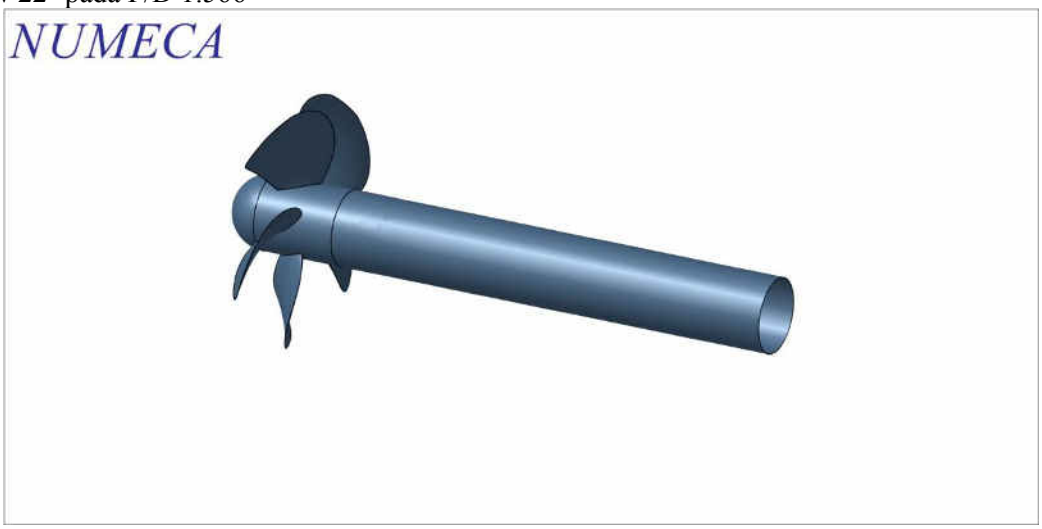
Ross, Donald. 1976. *Mechanics of Underwater Noise*. New York: Maxwell House.

Wei, Y., Wang, Y., Ding, K., & Fu, J. (2012, August). Submarine Underwater Structure-Borne Noise and Flow Noise due to Propeller Excitation. *Acoustics Australia Volume 40 no.2*, pp. 122-127.

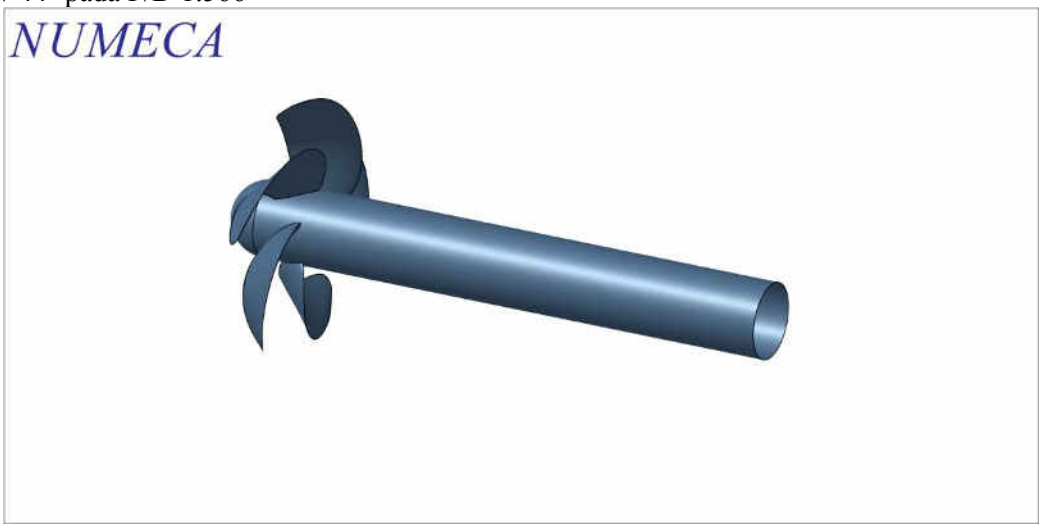
"Halaman ini sengaja dikosongkan"

LAMPIRAN

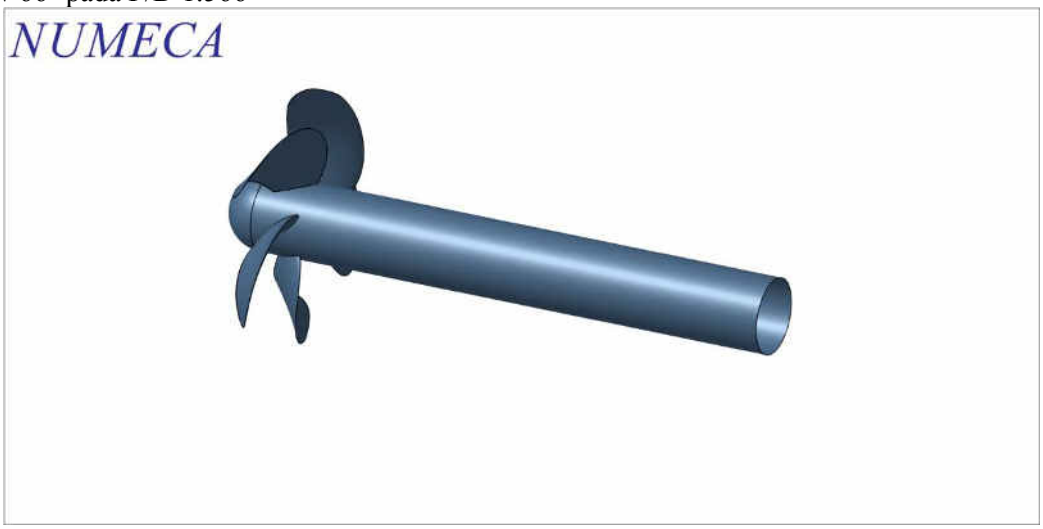
Variasi Model Propeller
Skew 22˚ pada P/D 1.566



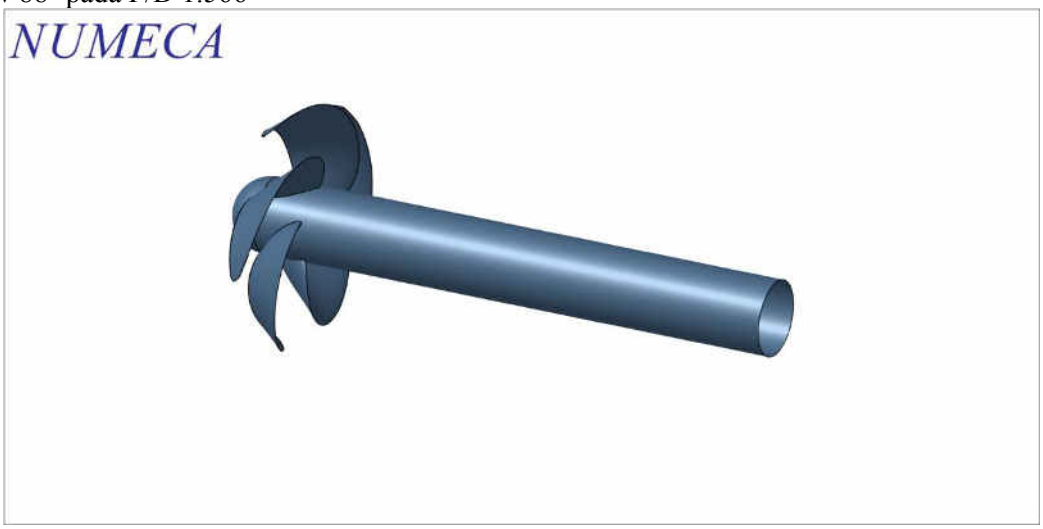
Skew 44˚ pada P/D 1.566



Skew 66˚ pada P/D 1.566

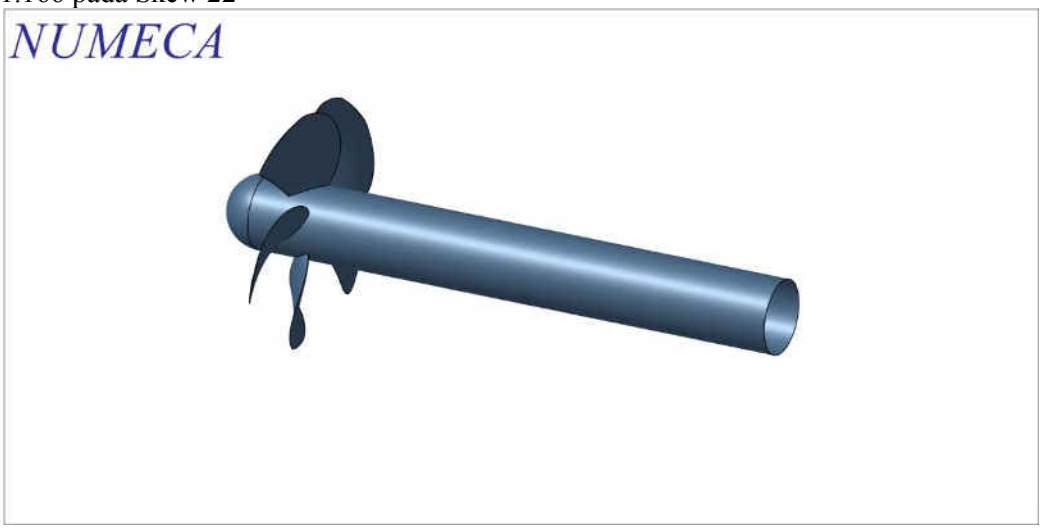


Skew 88˚ pada P/D 1.566

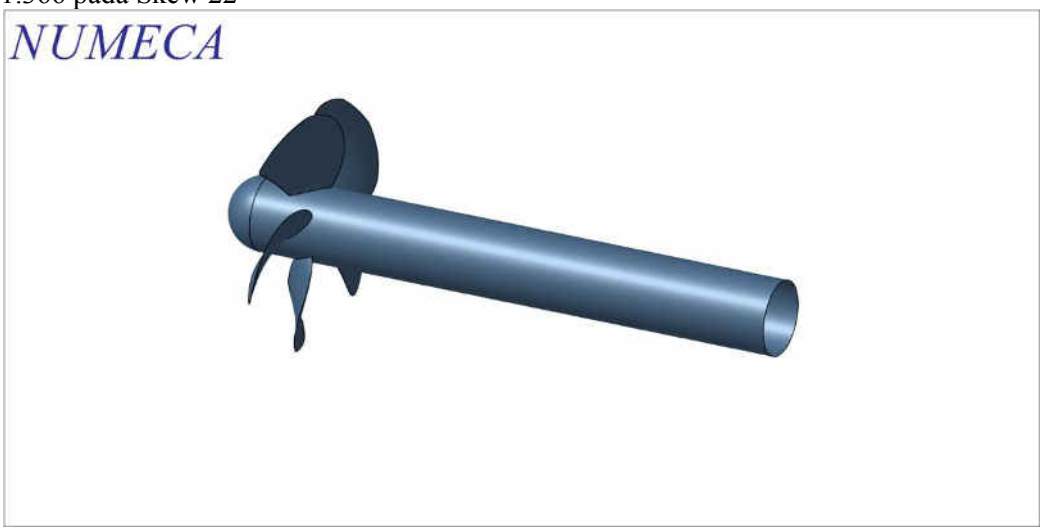


Skew 110˚ P/D 1.566

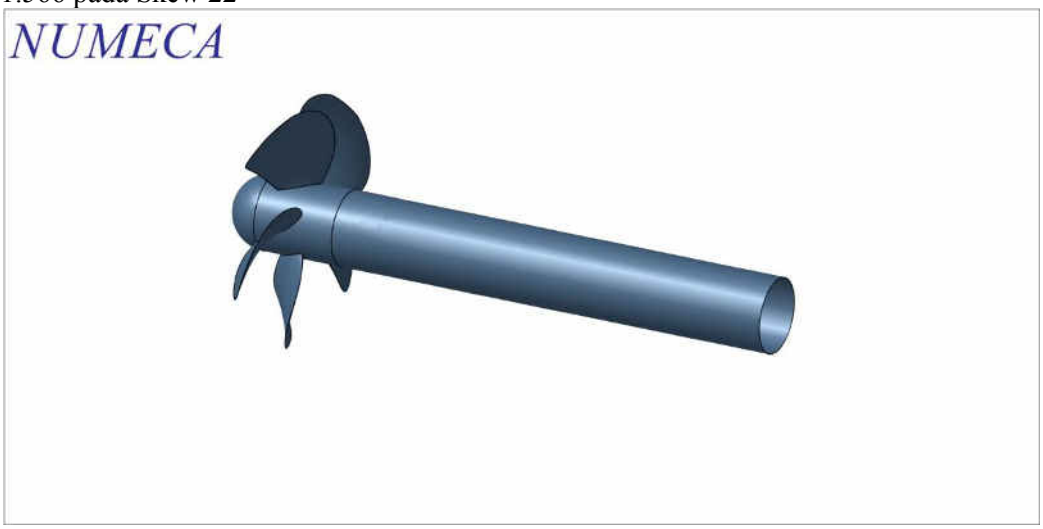
P/D 1.166 pada Skew 22˚



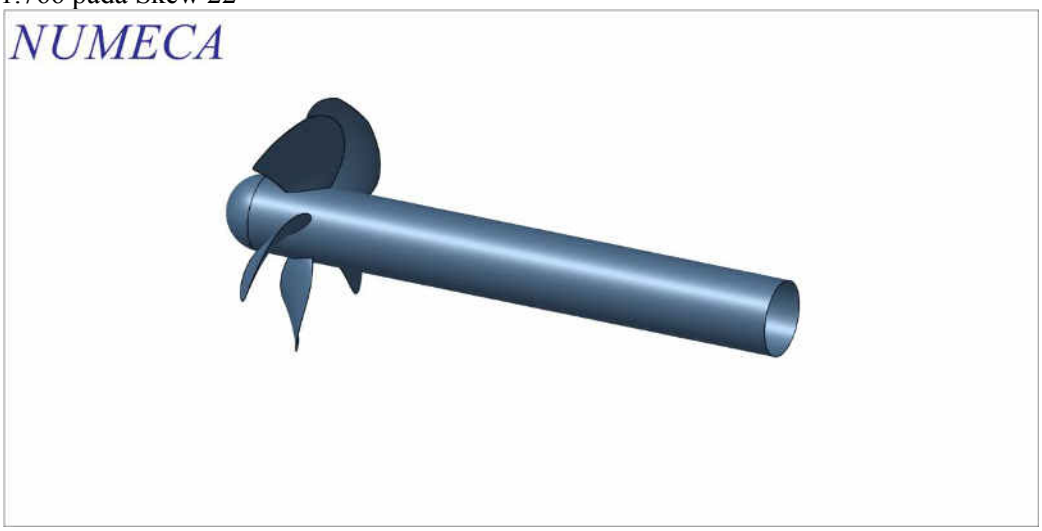
P/D 1.366 pada Skew 22˚



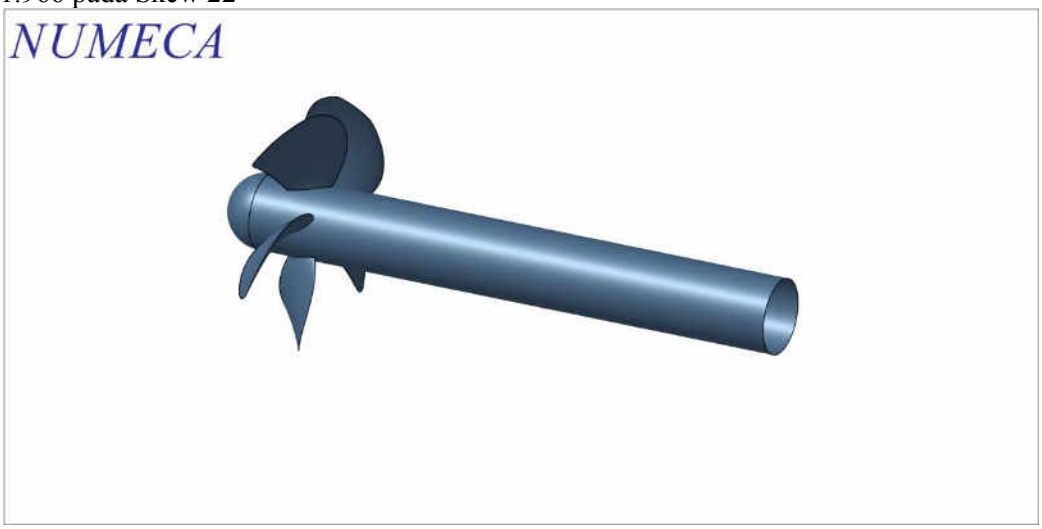
P/D 1.566 pada Skew 22˚



P/D 1.766 pada Skew 22˚



P/D 1.966 pada Skew 22˚



Biodata Penulis

Penulis bernama Riyan Bagus Prihandanu, dilahirkan di Trenggalek pada tanggal 6 Juni 1996. Penulis telah menempuh Pendidikan formal di SDN Kampung Dalem 1, SMPN 1 Tulungagung, SMAN Boyolangu. Penulis meneruskan pendidikan perguruan tinggi di S1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan, FTK, ITS. Penulis aktif dalam kegiatan HIMASISKAL seperti pelatihan, forum dan kegiatan organisasi. Penulis juga aktif dalam kegiatan kewirausahaan dan mendirikan usaha 3D Recase dengan modal yang didapatkan melalui KBMI dan PMW. Penulis pernah meraih juara 2 pada ajang *"The International Student Design Competition for Safe and Affordable Ferry 2018"* bersama tim Basudewa dan Juara 1 Stand Terbaik pada acara Expo Kewirausahaan Mahasiswa Indonesia (KMI) ke 7. Untuk diskusi dan saran lebih lanjut mengenai penelitian ini, penulis dapat dihubungi melalui email sebagai berikut.

Riyan Bagus Prihandanu
Riyan_bagoes_20@yahoo.co.id
+6285736719429
Motto : We can make "Everything"

"Halaman ini sengaja dikosongkan"