



TUGAS AKHIR - MN 141581

**ANALISA PENGARUH KONFIGURASI FIN PADA STERN
TERHADAP KEMAMPUAN *HYDRO-ACOUSTIC***

**Robi Wahyudi
NRP 4113100045**

**Dosen Pembimbing
Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**



TUGAS AKHIR - MN 141581

**ANALISA PENGARUH KONFIGURASI FIN PADA STERN
TERHADAP KEMAMPUAN *HYDRO-ACOUSTIC***

**Robi Wahyudi
NRP 413100045**

**Dosen Pembimbing
Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**



FINAL PROJECT - MN 141581

**ANALYSIS OF FIN CONFIGURATION EFFECT ON STERN
AGAINST TO *HYDRO-ACOUSTIC* ABILITY**

**Robi Wahyudi
NRP 4113100045**

**Supervisor
Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2017**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PENGARUH KONFIGURASI FIN PADA STERN TERHADAP KEMAMPUAN *HYDRO-ACOUSTIC*

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

ROBI WAHYUDI
NRP 4113100045

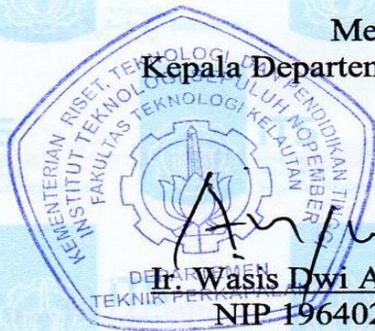
Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing

Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D.

NIP 19670406 199203 1 001

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Perkapalan



Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.

NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, Juli 2017

LEMBAR REVISI

ANALISA PENGARUH KONFIGURASI FIN PADA STERN TERHADAP KEMAMPUAN *HYDRO-ACOUSTIC*

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 10 Juli 2017

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

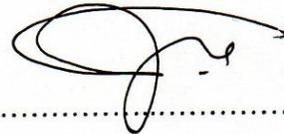
ROBI WAHYUDI
NRP 4113 100 045

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Ahmad Nasirudin, S.T., M.Eng



2. Aries Sulisetyono, S.T., MA.Sc., Ph.D



3. Dr.Ir.I Ketut Suastika, M.Sc



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D.



SURABAYA, Juli 2016

Dipersembahkan kepada kedua orang tua dan kakak atas segala dukungan dan doanya.
Serta kebangkitan keadilan diseluruh dunia.

KATA PENGANTAR

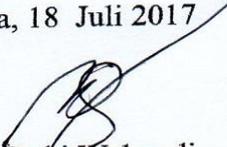
Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

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

1. Bapak Prof.Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
2. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan ITS;
3. Bapak Aries Sulisetyono, S.T., MA.Sc., Ph.D. selaku Dosen Wali;
4. Bapak Hasanudin, S.T., M.T. selaku Kepala Laboratorium Desain Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas ijin pemakaian fasilitas laboratorium;
5. Keluarga Penulis, Ibunda Zuryani, Ayahanda Samhudi, Kakak Nova Budiyan dan Mubarak yang telah menjadi motivator penulis untuk meraih masa depan;
6. Mas ridho, Mas Denny, Mas Sutio yang telah berkontribusi membantu penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Teman-Teman Kos muslim ceria yang senantiasa memberikan bantuan baik material maupun moril terhadap penyelesaian tugas akhir ini
8. Dan semua pihak yang telah membantu menyelesaikan Tugas Akhir ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Demikian Laporan Tugas Akhir ini Penulis susun, dengan harapan dapat memberikan manfaat bagi para pembaca. Penulis menyadari dalam penulisan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, Penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Surabaya, 18 Juli 2017



Robi Wahyudi

ANALISA PENGARUH KONFIGURASI FIN PADA STERN TERHADAP KEMAMPUAN *HYDRO-ACOUSTIC*

Nama Mahasiswa : Robi Wahyudi
NRP : 4113100045
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc.,Ph.D.

ABSTRAK

Kapal selam modern memiliki tingkat kebisingan yang rendah, atau lebih dikenal dengan istilah kemampuan *hydro-acoustic* yang baik. Dalam peperangan tingkat kebisingan menentukan sejauh mana radar musuh mampu mendeteksi keberadaannya, semakin besar kebisingan yang ditimbulkan semakin mudah musuh untuk menganalisa jenis, karakter, posisi, bahkan ukuran kapal selam yang kita gunakan. Oleh karenanya, besarnya kebisingan ini sangat penting untuk dianalisa pada tahap awal desain. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengkaji pengaruh konfigurasi fin yang terdapat di depan propeller dengan jumlah daun propeller. Konfigurasi fin akan menimbulkan *wake* yang berbeda, sehingga propeller yang bekerja di daerah *wake* kapal, akan mengalami fluktuasi beban kerja yang berbeda dan pada akhirnya akan menghasilkan kebisingan yang berbeda. Variasi konfigurasi yang dilakukan yaitu 3,4,dan 5 fin. Dari hasil simulasi didapatkan nilai tertinggi yang terjadi pada konfigurasi 3 fin sebesar 137 dB re 1 μ Pa ,1m. Pada konfigurasi 4 fin sebesar 112 dB re 1 μ Pa ,1m., sedangkan pada konfigurasi 5 fin sebesar 132 dB re 1 μ Pa ,1m.

Kata kunci: Kapal Selam , *wake*, *Hydro-Acoustic*, Konfigurasi Fin

ANALYSIS OF FIN CONFIGURATION EFFECT ON STERN AGAINST TO *HYDRO-ACOUSTIC* ABILITY

Author : Robi Wahyudi
ID No. : 4113100045
Dept. / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology
Supervisor : Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc.,Ph.D

ABSTRACT

Modern submarine has low noise intensity level or also known as good performance hydro-acoustic. In the war, noise determine how the enemy detect us, greater noise value make enemy know more detail information about our vessel, include type, position, characteristic, even up to principal dimension. Consequently, noise become important thing in initial design stage. The purpose of this research is to study effect from configuration number of fin againts to propeller. Fin configuration distrust flow around hull so in stern of ship this flow become non uniform or known as *wake*. Propeller working in the *wake* region, the non uniform flow cause fluctuations on thrust and torque, so generates vibration that produces wave knows as noise intensity level. Variations done with 3 different configuration, consist of 3, 4, and 5 fin. From simulation result obtain that on 3 fin configuration noise level maximum reach 137 dB re $1\mu\text{Pa}$,1m, on 4 fin configuration reach 112 dB re $1\mu\text{Pa}$,1m , on 5 fin configuration reach 132 dB re $1\mu\text{Pa}$,1m

Keywords: Submarine, wake, hydro-acoustic, fin configuration

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
PERUNTUKAN	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
Bab I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang Masalah.....	1
I.2. Perumusan Masalah.....	2
I.3. Tujuan.....	2
I.4. Batasan Masalah.....	2
I.5. Manfaat.....	2
Bab II STUDI LITERATUR	3
II.1. Kapal Selam	3
II.1.1. Geometri Kapal Selam	3
II.1.2. Bow dan Stern	3
II.1.3. Foil	5
II.1.4. Konfigurasi Fin pada Kapal Selam	6
II.2. Teori Kebisingan	8
II.2.1. Sumber Kebisingan	9
II.2.2. Boundary Layer Separation.....	10
II.2.3. Boundary Layer Transition	11
II.2.4. Wake dan Lapisan Batas Foil.....	12
II.2.5. Transmission loss	15
II.2.6. Akustik Bawah Laut.....	20
II.2.7. Boundary Loss.....	21
II.2.8. Daerah Kerja Propeller.....	25
II.2.9. Skala Logaritmik dan Intesitas Level.....	29
II.2.10. Fast Fourier Transform.....	30
II.3. Computational Fluid Dynamics	31
II.3.1. Pre-Processor.....	32
II.3.2. Processor (Solver)	33
II.3.3. Navier Stokes	33
II.3.4. Ffowcs Williams and Hawkings	34
II.3.5. Post Processor	35
Bab III METODOLOGI	37
III.1. Metode.....	37
III.2. Langkah Pengerjaan	37
III.2.1. Studi Literatur	37
III.2.2. Pengumpulan Data	37

III.2.3.Membuat Model.....	38
III.2.4.Simulasi Numerik	38
III.2.5.Menganalisa Aliran.....	38
III.2.6.Mengukur tingkat kebisingan	38
III.2.7.Validasi Hasil.....	39
III.3.Lokasi Pengerjaan.....	39
III.4 Bagan Alir.....	40
Bab IV SIMULASI CFD	41
IV.1.Pembuatan Model	41
IV.1.1.Model Lambung Kapal.....	41
IV.1.2.Model Propeller	43
IV.2.Simulasi CFD	44
IV.2.1.Membuat Geometri.....	44
IV.2.2.Meshing	44
IV.2.3.Solver.....	46
IV.2.4.Verifikasi Hasil.....	49
Bab V ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN.....	51
V.1.Simulasi Aliran	51
V.1.1.Konvergensi	51
V.1.2.Grid Independence	52
V.2.Simulasi Kebisingan	55
Bab VI KESIMPULAN DAN SARAN	65
VI.1.Kesimpulan.....	65
VI.2.Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	67
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Geometri kapal selam.....	3
Gambar II. 2 General arrangement bow kapal selam	4
Gambar II. 3 General arrangement stern kapal selam	4
Gambar II. 4 Foil	5
Gambar II. 5 Wake akibat midline plane.....	6
Gambar II. 6 Wake akibat eyebrow plane	7
Gambar II. 7 Wake akibat sail plane	7
Gambar II. 8 (a) Batas ukuran hydroplane, (b) Variasi konfigurasi hydroplane di buritan	8
Gambar II. 9 Wake di buritan	8
Gambar II. 10 Pengaruh fin terhadap wake	9
Gambar II. 11 Jenis kebisingan	9
Gambar II. 12 Menaikan viskositas	11
Gambar II. 13 Memberikan momentum tambahan	11
Gambar II. 14 Menghisap momentum.....	11
Gambar II. 15 Transisi pada pelat datar	12
Gambar II. 16 Kontur wake	13
Gambar II. 17 Lapisan batas.....	13
Gambar II. 18 Wake di buritan kapal	13
Gambar II. 19 Lapisan batas pada foil.....	14
Gambar II. 20 Wake pada foil	15
Gambar II. 21 Pengaruh koefisien attenuation terhadap frekuensi	19
Gambar II. 22 Variasi kecepatan terhadap kedalaman	20
Gambar II. 23 Penurunan tingkat kebisingan pada frekuensi tertentu selama tranmisi	21
Gambar II. 24 Hukum Snell	21
Gambar II. 25 Boundary loss.....	25
Gambar II. 26 Massa jenis terhadap salinitas dan temperature	26
Gambar II. 27 Variasi temperatur,salinitas dan massa jenis terhadap posisi lintang	26
Gambar II. 28 Spektrum gelombang	29
Gambar II. 29 Domain waktu dan domain frekuensi	30
Gambar II. 30 a) Gelombang awal domain waktu ; b) dikret gelombang; c) gelombang domain frekuensi	31
Gambar II. 31 Persebaran tekanan.....	35
Gambar II. 32 Free suface pada platform	35
Gambar II. 33 Hasil meshing.....	45
Gambar IV. 1 Penampang melintang DARPA subboff.....	41
Gambar IV. 2 Geometri kapal selam	42
Gambar IV. 3 Ekspor format model	42
Gambar IV. 4 Model propeller	43
Gambar IV. 5 Data propeller	43
Gambar IV. 6 Penamaan bagian-bagian geometri.....	44
Gambar IV. 7 Pengaturan cell zone condition.....	46
Gambar IV. 8 Konvergen pada transient	47

Gambar IV. 9 Membaca file .asd.....	48
Gambar IV. 10 Memplot hasil.....	48
Gambar IV. 11 Contoh grafik kebisingan	49
Gambar IV. 12 Spesifikasi komputer	50
Gambar V. 1 Konvergensi yang dicapai.....	51
Gambar V. 2 Grid independence pada konfigurasi 5 fin.....	52
Gambar V. 3 Grid Independence pada konfigurasi 4 fin.....	53
Gambar V. 4 Grid Independence pada konfigurasi 3 fin.....	53
Gambar V. 5 Kontur wake 3 fin (a) sebelum, dan (b)sesudah melewati propeller	55
Gambar V. 6 Kontur wake 4 fin (a) sebelum, dan (b)sesudah melewati propeller	56
Gambar V. 7 Kontur wake 5 fin (a) sebelum, dan (b)sesudah melewati propeller	56
Gambar V. 8 Mekanisme perambatan bunyi (a) perbedaan gaya per satuan penampang propeller, (b) bunyi merupakan perbedaan tekanan medium	57
Gambar V. 9 Proses fluktuasi tekanan menjadi kurva SPL.....	58
Gambar V. 10 Kurva kebisingan 3 fin.....	58
Gambar V. 11 Kurva kebisingan 4 fin.....	59
Gambar V. 12 Kurva kebisingan 5 fin.....	59
Gambar V. 13 Hasil pengukuran kebisingan kapal selam.....	60
Gambar V. 14 Hasil numerik kebisingan	60
Gambar V. 15 Hasil numerik kebisingan menggunakan sliding mesh.....	61
Gambar V. 16 Hasil penelitian yang dilakukan.....	61
Gambar V. 17 Lokasi peletakan titik tinjau/receiver.....	62
Gambar V. 18 Perbandingan hasil simulasi dengan hasil Ozden et al. (2016).....	62
Gambar V. 19 Perbandingan hasil simulasi dengan hasil penelitian Wei et al. (2012).....	64
Gambar V. 20 Parameter kebisingan menurut Miasnikov (1994).....	64

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1 Variasi viskositas kinematis air laut	27
Tabel II. 2 Perbedaan eksperimen dengan simulasi numerik	32
Tabel II. 3 Pengaturan boundary condition	47
Tabel IV. 1 Rasio ukuran lambung.....	41
Tabel V. 1 Grid independence pada konfigurasi 5 fin.....	52
Tabel V. 2 Grid Independence pada konfigurasi 4 fin	53
Tabel V. 3 Grid Independence pada konfigurasi 3 fin	54

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Masalah

Kapal selam merupakan teknologi unggul yang hanya segelintir negara yang mampu membangunnya, keberadaannya sangat penting bagi keutuhan suatu negara, banyak teknologi pendukung yang terus dikembangkan untuk meningkatkan performa kapal selam. Mulai dari kemampuan radar untuk mendeteksi kemungkinan keberadaan musuh, mesin penggerak bertenaga nuklir, penggunaan material terbaru yang mampu menyerap emisi radar yang dihasilkan pihak musuh. Namun perangkat tersebut masih belum cukup untuk meningkatkan performanya, karena adanya gelombang yang diemisikan oleh kapal selam itu sendiri, seperti gelombang suara yang menimbulkan kebisingan.

Kebisingan pada kapal selam dapat ditimbulkan oleh mesin (*machinery noise*), perputaran propeller (*propeller noise*), lapisan batas/aliran (*boundary layer/flow noise*), peralatan kelistrikan (*electrical noise*). Dari semua gelombang yang diemisikan ini, hanya dua jenis yang sangat berpengaruh pada suatu kapal selam yaitu akibat pergerakan aliran/lapisan batas (*boundary layer/flow noise*), yang dominan pada kecepatan rendah (<25 knots), dan perputaran propeller (*propeller noise*), yang dominan pada kecepatan tinggi (>25 knots). Kebisingan propeller memiliki porsi yang besar terhadap kebisingan pada kecepatan tinggi (Carlton, 2012), hal ini bukan hanya disebabkan oleh jumlah daun, kecepatan putar (rpm) namun juga dipengaruhi bentuk aliran yang masuk ke propeller, karena propeller bekerja di aliran yang sudah terinterferensi bentuk lambung dan buritan (*wake*) sehingga variasi bentuk buritan akan sangat berpengaruh terhadap *wake* yang ditimbulkan sehingga memengaruhi kebisingan yang dihasilkan (Renilson, 2015). Ketika jumlah *fin/appendages* yang berada di depan propeller memiliki jumlah yang sama akan terjadi tingkat kebisingan yang penting untuk ditinjau dibanding jumlah fin dan daun propeller yang berbeda

Oleh karena itu, penulis melakukan peninjauan akan kebisingan yang diakibatkan konfigurasi fin di depan propeller sehingga dapat diketahui pengaruhnya terhadap kemampuan *hydro-acousticnya*.

I.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, permasalahan yang akan dikaji dalam tugas akhir ini adalah sebagaimana yang terdapat pada poin-poin berikut :

1. Bagaimana pengaruh konfigurasi *hydroplane* di daerah buritan terhadap bentuk aliran yang ditimbulkan?
2. Bagaimana Pengaruh bentuk aliran yang dihasilkan terhadap kemampuan *hydro-acoustic*?

I.3. Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisa Pengaruh konfigurasi fin terhadap Bentuk aliran yang ditimbulkan sebelum memasuki propeller
2. Menganalisa Pengaruh aliran yang ditimbulkan terhadap kemampuan *hydro-acoustic*

I.4. Batasan Masalah

Batasan masalah digunakan sebagai acuan dalam penulisan Tugas Akhir sehingga dapat sesuai dengan permasalahan serta tujuan yang diharapkan. Batasan permasalahan yang dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bentuk lambung bagian buritan sama untuk semua pengujian
2. Data lambung Kapal dirancang mengikuti kriteria-kriteria yang tercantum di jurnal
3. Analisa hanya dilakukan saat kapal selam berada didalam laut (*submerge condition*)
4. Variasi dari konfigurasi *hydroplane* hanya pada bagian buritan
5. Kecepatan yang digunakan hanya satu variasi yaitu 6 m/s (sekitar 12 knot)

I.5. Manfaat

Dari tugas akhir ini, diharapkan dapat diambil manfaat sebagai berikut :

1. Memajukan khasanah ilmu pengetahuan ,terutama menunjang proses belajar mengajar.
2. Sebagai media pembelajaran mengenai pengaruh *hydroplane* pada kapal selam.
3. Sebagai literature penelitian sejenis.
4. Membantu Desainer Kapal selam untuk menghasilkan desain yang lebih baik

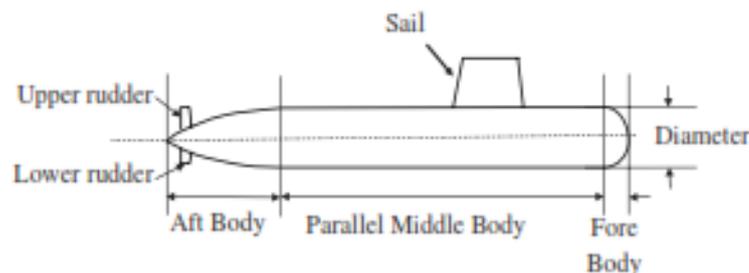
BAB II STUDI LITERATUR

II.1. Kapal Selam

Penyebab kebisingan utama kapal selam pada kecepatan tinggi ialah *hydrodynamic noise*, yaitu kebisingan yang diakibatkan interaksi antara lambung dengan aliran fluida yang melingkupinya, namun pada kecepatan rendah kebisingan aliran juga berpengaruh (*flow noise*). Aliran yang terbentuk akan mengalami percepatan sampai di suatu titik mengalami perlambatan tergantung bentuk lambung. Ketika terjadi perlambatan ini, terdapat pemisahan akibat perbedaan tekanan (Joubert, 2004). Aliran yang berada disekitar buritan akan membentuk *wake*, dan propeller beroperasi di area ini. Bentuk buritan sendiri sangat berpengaruh terhadap bentuk *wake* yang ditimbulkan (Renilson, 2015). *Wake* berpengaruh terhadap beban yang di terima propeller, hal ini berkaitan dengan tingkat kebisingan yang ditimbulkan (Carlton, 2012).

II.1.1. Geometri Kapal Selam

Kapal Merupakan kendaraan yang dibuat untuk keperluan khusus dapat digunakan untuk militer, pengeboran minyak, wisata bawah laut. Secara keseluruhan bentuk lambung kapal selam terbagi menjadi 2 macam, seperti tetesan air (*teardrop shape*) dan bagian tengah sejajar (*Parallel middle body*). Sail dan rudder berpenampang foil, rudder buritan tepat berada di depan propeller sehingga secara langsung aliran yang melalui propeller harus mengenai rudder terlebih dahulu.

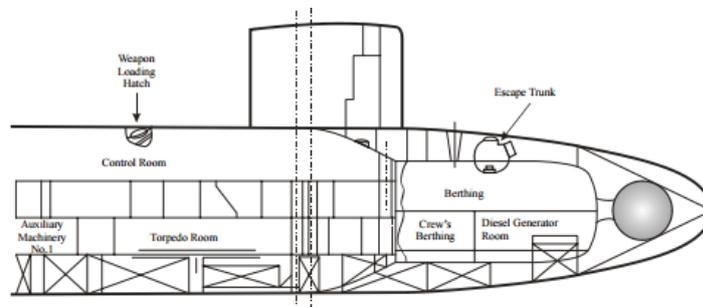


Gambar II. 1 Geometri kapal selam (Rawson and Tupper, 2001)

II.1.2. Bow dan Stern

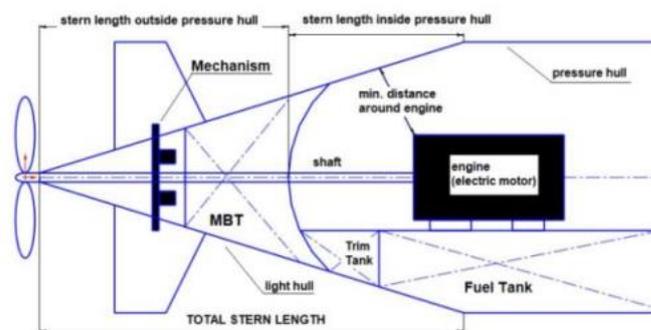
Bentuk bow kapal selam didesain dengan baik sehingga memiliki hambatan yang kecil disertai mampu penundaan pemisahan aliran, hal ini dikarenakan SONAR yang digunakan kapal selam memiliki jangkauan yang lebih baik jika ditaruh dibagian ini, sehingga diusahakan

aliran dibagian ini laminer, karena ketidak laminer-an aliran akan mengganggu kinerjanya. Untuk mencapai kecepatan lebih tinggi dengan kebisingan lebih rendah bagian bow di desain lebih ramping. Keberadaan tabung torpedo di bow meningkatkan nilai hambatan dan kebisingan, penting juga untuk mengamati aliran yang berputar balik dan mengganggu aliran (karena kurvatur lambung, lekukan tajam, *hatch* torpedo, bukaan *drainase*, tonjolan). Bentuk bow bulat penuh beresiko terjadi pemisahan aliran, persebaran tekanan yang tidak diinginkan dan transisi di daerah vital, ukuran lambung yang pendek cenderung tidak stabil saat dikemudikan maupun autopilot. Aspek penting terkait performa akustik akibat bentuk bow ialah *laminar separation* dan transisi laminar-turbulen. *Laminar separation* menimbulkan amplitude kebisingan yang tinggi, yang mengganggu kinerja sonar menangkap musuh sekaligus meningkatkan kemungkinan kita terdeteksi musuh.



Gambar II. 2 *General arrangement* bow kapal selam

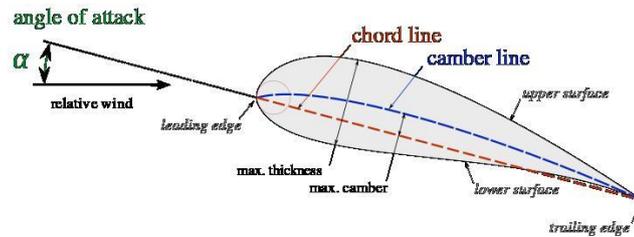
Bentuk buritan yang baik menghasilkan nilai hambatan yang rendah. Efisiensi propeller bergantung pada banyak variabel, salah satunya bentuk aliran yang masuk ke propeller. Gaya dorong dihasilkan melalui peningkatan momentum fluida yang melewati propeller. Bentuk buritan bulat penuh memberikan *bouyancy* tambahan, dimana bagian ini banyak perlengkapan berat seperti mesin, generator. Namun menghasilkan *drag* yang lebih besar.



Gambar II. 3 *General arrangement* stern kapal selam (Moonesun *et al.*, 2015)

II.1.3. Foil

Foil adalah bentuk penampang yang digunakan dapat menghasilkan gaya angkat besar dengan hambatan sekecil mungkin. Gaya *lift* dari sayap tersebut sangat bergantung pada bentuk geometris penampang hidrofoilnya. Bentuk geometris penampang hidrofoil secara umum dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar II. 4 Foil

Dan bagian-bagian foil adalah sebagai berikut:

- *Leading edge*: sisi depan foil
- *Trailing edge*: sisi belakang foil
- *Chord*: jarak antara *leading edge* dan *trailing edge*
- *Chord line*: garis lurus yang menghubungkan *leading edge* dengan *trailing edge*.
- *Mean chamber line*: garis yang membagi sama besar antara permukaan atas dan bawah.
- *Maximum chamber*: jarak maksimal antara *chamber line* dan *chord line*.
- *Maximum thickness*: jarak maksimal antara permukaan atas dan bawah.
- *Leading edge radius*: jari-jari kelengkungan permukaan *leading edge*
- Sudut serang: sudut yang dibentuk antara *chord* foil dengan vector kecepatan aliran

Gaya angkat (*L*) merupakan komponen gaya fluida pada foil yang tegak lurus arah gerakan. Gaya *drag* (*D*) merupakan konponen gaya fluida yang berlawanan arah dengan arah gerak foil. Berdasarkan analisis dimensi bentuk persamaan *lift* dan *drag* adalah sebagai berikut:

$$L = \frac{1}{2} \rho V^2 A_P C_L$$

$$D = \frac{1}{2} \rho V^2 A_P C_D$$

Dimana,

L : gaya *lift*

ρ : massa jenis fluida

C_L: koefisien *lift*

V : kecep atan

D : gaya *drag*

C_D : koefisien *drag*

A_P : *plan area* (*S*), luasan maksimum : *chord* × *span*

Gaya *thrust* (T) merupakan salah satu gaya aerodinamika yang bekerja pada kemudi dalam suatu pelayaran, yaitu gaya yang mendorong kapal untuk dapat bermanuver. Gaya ini sesuai dengan dua hukum gerak Newton, yaitu hukum II yang menyatakan bahwa gaya merupakan hasil kali massa terhadap kecepatannya., dan hukum III menyatakan bahwa gaya aksi sama dengan gaya reaksi. Pada penerbangan gaya *thrust* dihasilkan oleh mesinnya. Gaya *thrust* juga dapat dihasilkan oleh foil, yaitu ketika foil tersebut mengepak (*flapping*) seperti halnya pada sayap burung dan ekor lumba-lumba.

II.1.4. Konfigurasi Fin pada Kapal Selam

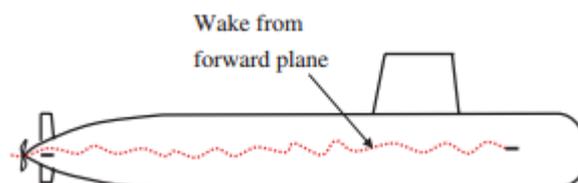
Kapal selam memiliki *hydroplane* yang digunakan untuk bermanuver baik di atas permukaan air (*surface*) maupun didalam permukaan air (*submerged*). Letak *hydroplane* ini terdiri dari dua macam, *forward* dan *after*. *Forward* terdiri dari *sail*, *eyebrow*, dan *sail*. *After* terdiri dari depan dan belakang propulsor. *Hydroplane* ini memiliki bentuk penampang berupa foil. Letak *Hydroplane* ini memengaruhi aliran yang akan masuk ke propeller sehingga secara signifikan berdampak terhadap nilai efisiensi dan performa akustik. Selain *hydroplane* bentuk lambung juga ikut berperan terhadap aliran yang masuk ke propulsor. Berikut ini pengaruh letak fin terhadap aliran *wake* yang dihasilkan.

II.1.3.1 *Hydroplane* bagian depan

Hydroplane Bagian depan, umumnya memiliki susunan di kapal selam sebagai berikut:

A. *Midline plane*

Pemasangan pada posisi ini tidak terganggu aliran air yang membuatnya dapat dikontrol dengan baik. Namun menghasilkan *vortices* yang menurunkan performa sonar, dan memungkinkannya masuk ke propulsor sehingga meningkatkan kebisingan. Walaupun posisi ini baik terhadap aspek rasionya , dibutuhkan mekanisme yang memungkinkan fin untuk diteukuk ,hal ini jelas mempersulit pembangunan.

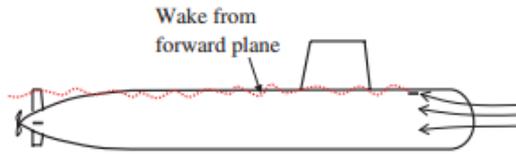


Gambar II. 5 *Wake* akibat *midline plane* (Renilson, 2015)

B. *Eye Brow Plane*

Pemasangan pada posisi ini, akan terganggu oleh aliran yang melalui bow sehingga sulit untuk mengontrolnya, tidak memungkinkan posisi plane ini *zero angle of attack*, akibatnya

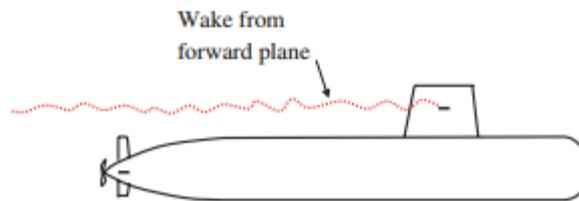
aliran yang dihasilkan akan menimbulkan *vortices* yang meningkatkan *drag*. Namun posisi ini tidak mengganggu sonar dan mencegah terjadinya peningkatan kebisingan propeller



Gambar II. 6 *Wake* akibat *eyebrow plane* (Renilson, 2015)

C. *Sail Plane*

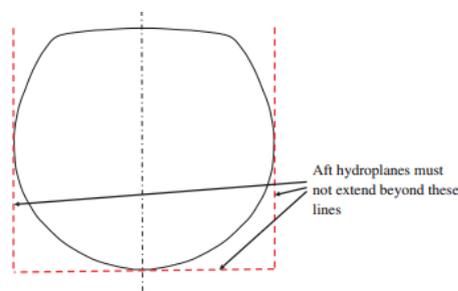
Pemasangan pada posisi ini tidak terganggu aliran air. Keunggulan posisi ini ialah memungkinkan kapal selam untuk mengubah kedalamannya tanpa mengubah trim, akan sangat berguna saat beroperasi dekat permukaan. Namun ketika dibutuhkan trim saat mengubah kedalaman serta saat kecepatan rendah dan kontrol hanya memungkinkan menggunakan forward kontrol hal ini tidak menguntungkan. Selain itu ketika beroperasi dekat permukaan akan menimbulkan gelombang dan ketika beroperasi di permukaan menimbulkan gangguan stabilitas



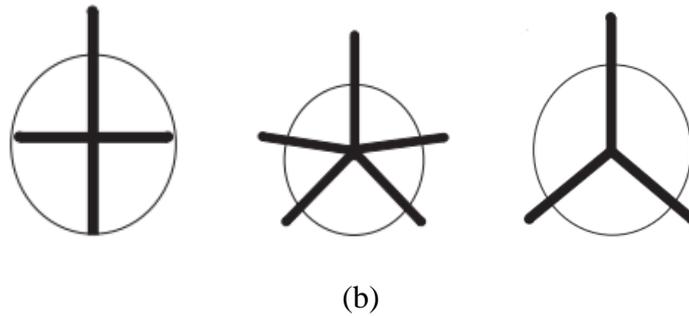
Gambar II. 7 *Wake* akibat *sail plane* (Renilson, 2015)

II.1.3.2 *Hydroplane* bagian belakang

Hydroplane bagian belakang, harus memenuhi batasan yang mana ukuran spannya tidak boleh melebihi diameter, umumnya memiliki susunan sebagai berikut :

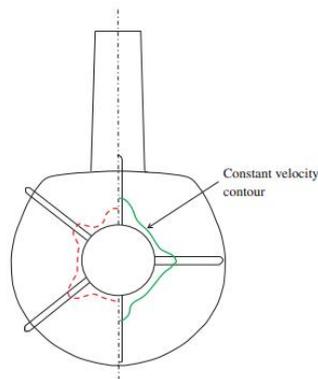


(a)



Gambar II. 8 (a) Batas ukuran *hydroplane*, (b) Variasi konfigurasi *hydroplane* di buritan (Renilson, 2015)

Adanya penambahan *hydroplane*/fin ini menimbulkan *wake* yang memiliki kontur kecepatan yang berbeda, kecepatan aliran didalam kontur lebih lambat daripada di garis kontur sedangkan diluarnya lebih cepat.



Gambar II. 9 *Wake* di buritan (Renilson, 2015)

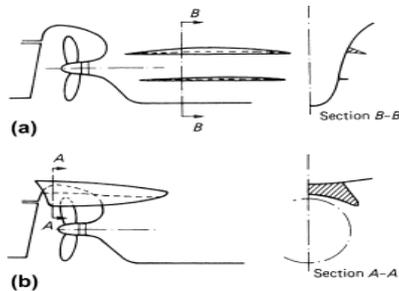
II.2. Teori Kebisingan

Propeller merupakan sumber utama terjadinya kebisingan, kebisingan ini ada yang mampu mentransmisi jarak jauh dan dekat, salah satu penyebab kebisingan yaitu aliran *wake* yang ditimbulkan bentuk lambung bagian buritan, yang memengaruhi aliran yang masuk ke propeller. Secara umum kebisingan yang disebabkan propulsor dapat dikategorikan menjadi:

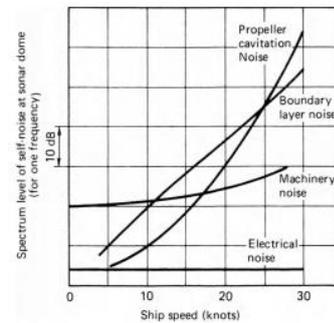
1. Disebabkan kavitasi
2. Jarak dekat (*Narrowband*)
3. Jarak Jauh (*Broadband*)

Secara umum desain propulsi kapal akan menghindari terjadinya kavitasi namun bagaimanapun hal ini bisa terjadi ketika kapal selam beroperasi dekat dengan permukaan air, kondisi yang tidak diperhitungkan saat proses desain seperti saat bermanuver. Kebisingan jarak dekat (*narrowband*) terjadi akibat aliran *wake* yang ditimbulkan lambung dan kehadiran appendages di depan propulsor. Kedua hal ini (lambung dan *appendages*) mendominasi

terjadinya kebisingan jenis ini. Selain itu jenis kebisingan ini juga ada keterkaitan antara jumlah daun propeller dengan kontur *wake* yang timbul dibagian buritan. Kebisingan jarak jauh (*Broadband Noise*) terjadi akibat pengaruh fluktuasi turbulen dari lapisan batas di daun. Kebisingan ini penting terutama dalam strategi peperangan.



Gambar II. 10 Pengaruh fin terhadap *wake*
(Carlton, 2012)



Gambar II. 11 Jenis kebisingan

Untuk menyelesaikan permasalahan kebisingan, salah satunya dengan menggunakan fin seperti pada gambar II.10(a) dan (b), fin akan memengaruhi bentuk *wake* yang akan masuk ke propeller. Selain kebisingan yang diakibatkan propulsor, masih ada jenis kebisingan lain seperti pada gambar II.11 besarnya kebisingan akibat lapisan batas mendominasi kebisingan total ketika beroperasi di kecepatan kurang dari 25 knot dan *propeller noise* mendominasi saat beroperasi lebih dari 25 knot. Adanya penambahan *hydroplane/fin* ini menimbulkan *wake* yang memiliki kontur kecepatan yang berbeda, kecepatan aliran didalam kontur lebih lambat daripada di garis kontur sedangkan diluarnya lebih cepat.

II.2.1. Sumber Kebisingan

II.2.1.1 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 lingkungan terdiri dari:

- Lalu lintas kapal, kebisingan jenis ini mendominasi frekuensi 10 Hz sampai 1000 Hz. Kebisingan ini meningkat seiring peningkatan jumlah kapal yang melalui perairan tersebut.
- 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 drastis 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 .

II.2.1.2 Kapal (*Self Noise*)

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

- a. Propeller

Propeller yang berputar saat beroperasi menghasilkan kebisingan yang dipengaruhi kecepatan rotasi dan geometri. Ketika terjadi kavitas akan terbentuk kebisingan yang ditransmisikan jarak jauh, nilai kavitas 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 kavitas.

- c. Permesinan

Kapal menggunakan banyak mesin untuk memenuhi kebutuhannya, 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

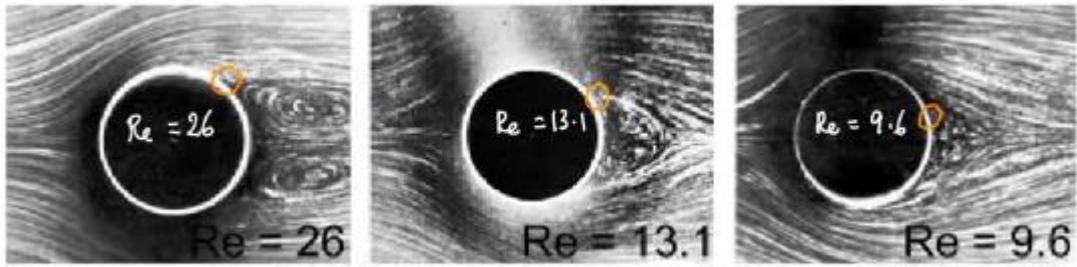
Kebisingan jenis ini ditimbulkan oleh perlengkapan elektronik yang ada di kapal, selama digunakan dalam operasional nilai kebisingan ini akan terus di transmisikan ke luar kapal, namun nilainya konstan pada setiap kecepatan.

II.2.2. *Boundary Layer Separation*

Pemisahan lapisan batas terjadi karena penurunan percepatan gerak fluida akibat gesekan dengan benda ,secara bersamaan terjadi penurunan kecepatan, yang mana kecepatan berbanding terbalik dengan tekanan. Pemisahan aliran ini dapat terjadi dialiran laminar maupun aliran turbulen.

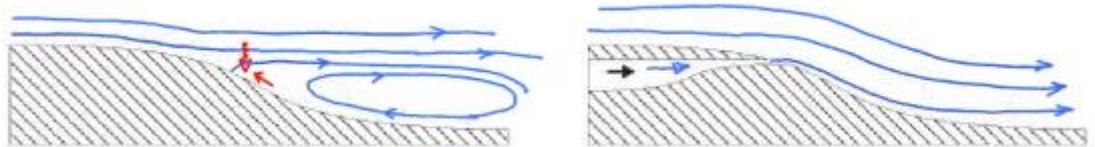
Untuk mencegah terjadinya pemisahan aliran, dapat dilakukan berbagai cara seperti berikut.

- Menaikan viskositas, sehingga aliran akan terus laminar sepanjang objek.



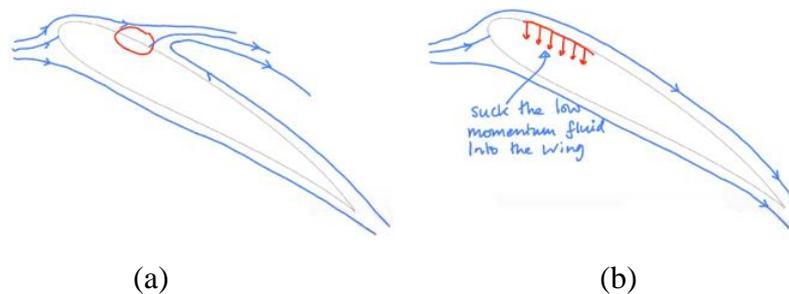
Gambar II. 12 Menaikan viskositas

- Meningkatkan momentum yang disalurkan ke aliran memberikan momentum melalui aliran secara langsung



Gambar II. 13 Memberikan momentum tambahan

- Menghisap momentum disekitar objek yang bersentuhan dengan aliran



Gambar II. 14 Menghisap momentum

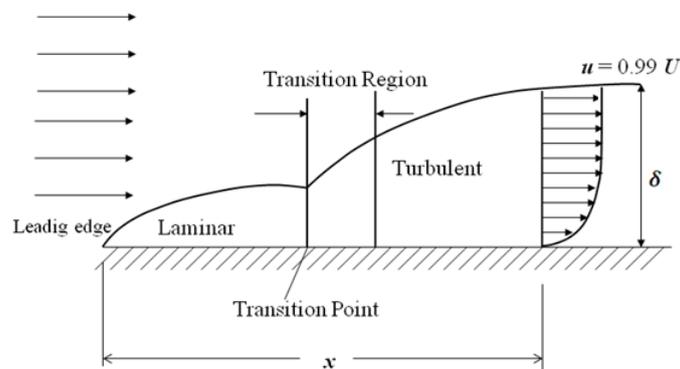
II.2.3. Boundary Layer Transition

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

- Kekasaran permukaan
- Turbulensi
- 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, misalnya 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)

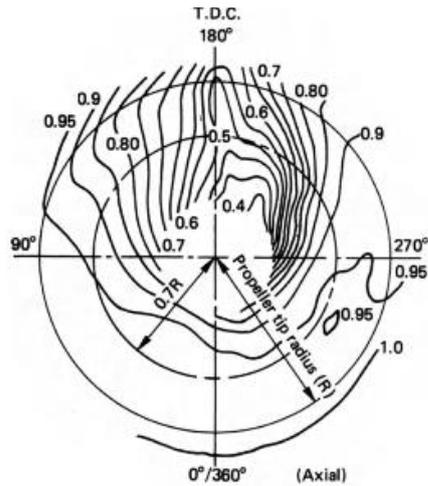


Gambar II. 15 Transisi pada pelat datar

II.2.4. Wake dan Lapisan Batas Foil

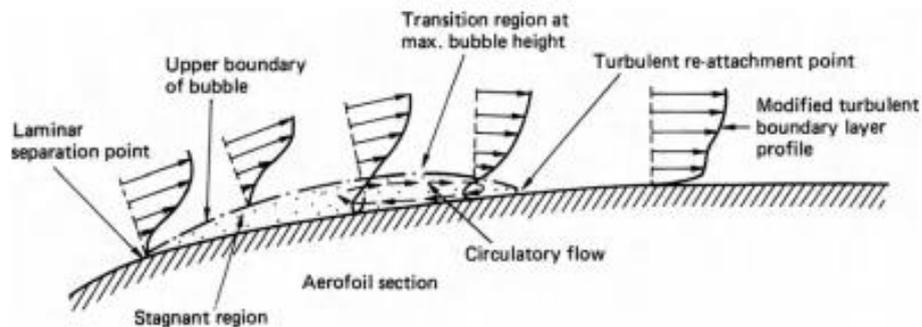
Wake berpengaruh terhadap nilai kebisingan yang dihasilkan propeller, hal ini karena propeller bekerja di daerah *wake* yang dihasilkan lambung kapal yang ada didepannya. *Wake* yang terjadi di area propeller bekerja di pengaruhi 3 komponen utama, yaitu :

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

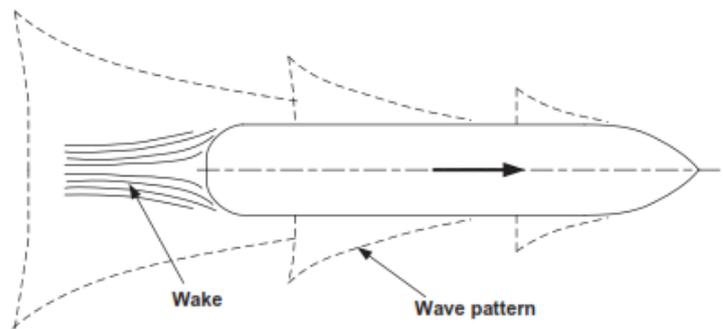


Gambar II. 16 Kontur *wake* (Carlton, 2012)

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 diisi aliran yang berada di atasnya sehingga terjadi aliran yang berlawanan arah dengan aliran yang ditimbulkan akibat gerakan.



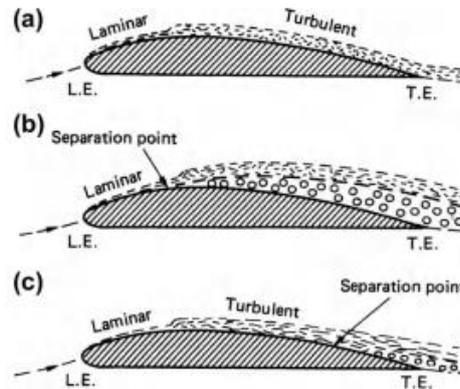
Gambar II. 17 Lapisan batas (Carlton, 2012)



Gambar II. 18 *Wake* di buritan kapal (Carlton, 2012)

Sedangkan karakteristik *wake* pada bagian fin kapal selam dimodelkan menjadi 3 kemungkinan bentuk aliran yang akan terjadi ,yaitu :

- a) Aliran yang terjadi seluruhnya merupakan laminar dan turbulen
- b) Aliran laminar memisah langsung menjadi aliran turbulen dan *wake*
- c) Aliran laminar transisi menjadi turbulen ,lalu aliran turbulen pada bagian tertentu berpisah dan menghasilkan *wake*



Gambar II. 19 Lapisan batas pada foil (Carlton, 2012)

Berdasarkan rumus pendekatan yang diberikan Michel-Smith (1956) transisi aliran laminar ke turbulen terjadi ketika nilai *Reynold* melebihi nilai *Reynold momentum thickness*, secara matematis nilai *Reynold momentum thickness* adalah :

$$R_{\Theta} = 1.174 R_s^{0.46}$$

Dimana ,

R_{Θ} = Reynold momentum thickness

$R_s = sv/v$;

$v = \textit{kinematic viscosity}$

$s = \textit{jarak titik yang ditinjau dari stagnation point}$

$v = \textit{kecepatan aliran}$

Sedangkan titik pemisahan dapat ditentukan menggunakan rumus pendekatan yang diberikan Van Oosanen (1970), yaitu :

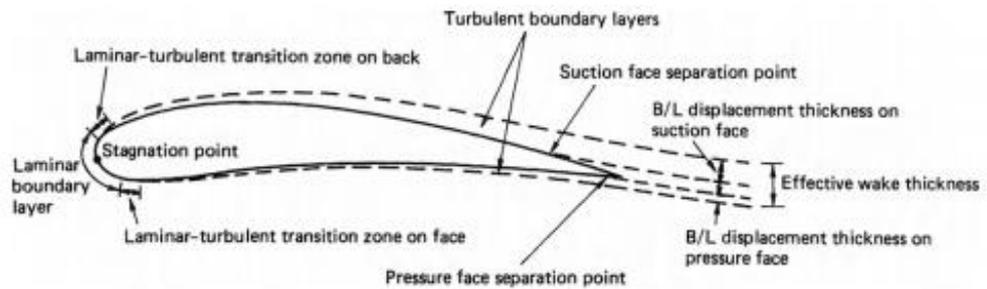
$$\frac{\tau_w}{\rho \cdot Vs} < 0.0001$$

Dimana,

$\tau_w = \textit{Tegangan Geser disekitar benda}$

$\rho = \textit{Massa jenis Fluida}$

$Vs = \textit{Kecepatan Benda}$



Gambar II. 20 *Wake* pada foil (Carlton, 2012)

II.2.5. *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 :

$$TL = 10 \log \frac{I(1 \text{ yard})}{I(r)}$$

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

II.2.5.1 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 jari-jarinya akan berubah, secara matematis dinyatakan sebagai:

$$P = IA = I(4\pi r^2)$$

Sehingga ketika daya yang disalurkan konstan. Maka nilai intensitas dari satu titik tinjau ke titik tinjauan yang lain, sebesar:

$$P_1 = P_2$$

$$I_1(4\pi r_1^2) = I_2(4\pi r_2^2);$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{4\pi r_1^2}{4\pi r_2^2} = \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2$$

Berdasarkan rumus diatas dapat disimpulkan nilai penurunan intensitas sebanding dengan jarak pangkat dua. Lalu persamaan diatas, masukan kemabli ke persamaan awal sehingga didapatkan:

$$TL = 10 \log \frac{I(1 \text{ yard})}{I(r)}$$

Sehingga didapatkan,

$$\frac{I_{(1 \text{ yard})}}{I_{(r)}} = \frac{4\pi(r)^2}{4\pi(1 \text{ yard})^2} = \left(\frac{r}{1 \text{ yard}}\right)^2$$

Maka kehilangan transmisi sebesar,

$$TL = 10 \log \frac{r^2}{1^2}$$

$$TL = 20 \log r$$

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. Dengan daya yang konstan, semakin lama area yang dicapai semakin meluas maka secara matemati dinyatakan sebagai :

$$A = 2 \pi r H$$

Dengan mengabaikan akibat pemantulan kembali ,daya yang hilang diasumsikan tidak ada, maka kehilangan transmisi secara silinder yaitu :

$$\frac{I_{(1 \text{ yard})}}{I_{(r)}} = \frac{2\pi r H}{2\pi(1 \text{ yard})H} = \frac{r}{1 \text{ yard}}$$

$$TL = 10 \log \frac{I(1 \text{ yard})}{I(r)}$$

$$TL = 10 \log r$$

Jika kedua model perambatan diatas digabungkan, maka nilai transmission loss sebesar :

$$TL = 20 \log r_0 + 10 \log \frac{r}{r_0}$$

c. Transisi Geometri Perambatan

Transisi perambatan gelombang berbentuk bola menjadi siliner sangat sulit di dapatkan , sehingga digunakan komputasi kompleks. Sehingga digunakan pendekatan yang diberikan urick (1975) :

$$r_0 = \sqrt{\frac{RH}{8}} \sqrt{\frac{H}{H-d}}$$

Dimana,

H = tebalnya lapisan

D = kedalaman sumber

R = radius kurvatur perambatan suara = $\frac{c_n}{g \cos \theta_n}$

Batasan penggunaan rumus diatas hanya sesuai jika, kedalaman H diketahui dengan baik dan hanya sesuai untuk satu sudut gelombang, Karena jika ditransmisikan dengan sudut lain persamaan ini hanya sebatas perkiraan.

II.2.5.2 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 :

$$TL_{attenuation} = \alpha (r - (1yd)) x 10^{-3} dB$$

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 :

$$TL_{attenuation} = \alpha (r x 10^{-3}) dB$$

1. Kekentalan

Kekentalan berpengaruh pada frekuensi gelombang suara yang terjadi dan bagaimana gerakan antar molekul yang direpresentasikan menjadi koefisien geser dan koefisien volume. Pertama kekentalan geser, besarnya didapatkan dari besarnya hambatan pergerakan antar lapisan di medium atau pergeseran antar medium besarnya :

$$\alpha_{shear} = \frac{16\pi^2}{3\rho c^3} \mu_s f^2$$

Kedua kekentalan akibat volume, didapatkan dari jeda waktu yang dibutuhkan untuk suatu molekul mengisi lubang struktur, yang besarnya :

$$\alpha_{volume} = \frac{16\pi^2}{3\rho c^3} \left(\frac{3}{4}\right) \mu_v f^2$$

Ketika kedua koefisien *attenuation* ini dijumlahkan, didapatkan nilai yaitu :

$$\alpha = 2.75 \times 10^{-4} f^2$$

2. Pelepasan Ion

Ion yang dominan dalam menentukan koefisien *attenuation* dalam proses asosiasi-desosiasi yang singkat ketika gelombang merambat ialah magnesium sulfat ($MgSO_4$), berikut ini reaksi kimianya :



Prosesnya terjadi berulang setiap perubahan densitas saat gelombang bergerak, nilai koefisien *attenuation* :

$$\alpha_{MgSO_4} = \frac{40f}{4100 + f^2}$$

Proses ini menarik ketika nilai $MgSO_4$ mencapai 5% dari keseluruhan garam yang terlarut di laut. Selain itu ion lain yang penting dalam melemahkan gelombang suara dibawah 1 kHz adalah Boron Borat ($B(OH)_4^-$). Reaksi kimianya sebagai berikut:



Nilai koefisien pelemahan (*attenuation*) yang disederhanakan dari persamaan yang kompleks ialah:

$$\alpha_{boron-borate} = \frac{0.1f^2}{1 + f^2}$$

3. Pembauran

Faktor ini dipengaruhi keheterogenan laut. Faktor pembauran ini konstan sepanjang frekuensi namun menjadi dominan pada frekuensi rendah (<100 Hz) ,secara matematis dinyatakan sebagai

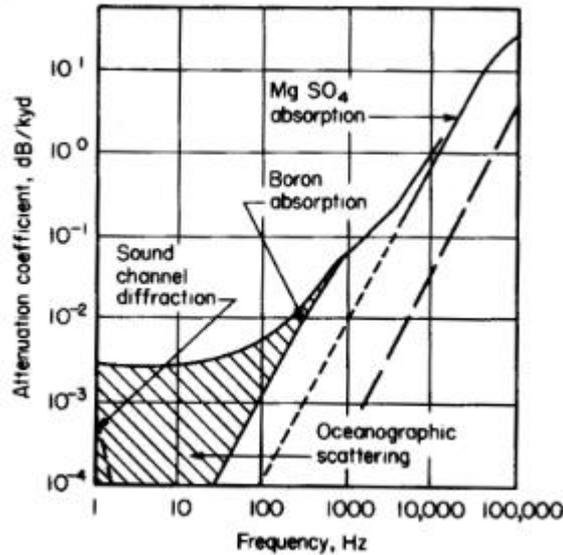
$$\alpha_{scattering} = 0.003 \frac{dB}{kilo\ yard}$$

Secara keseluruhan nilai koefisien pelemahan (*attenuation*) gelombang ialah :

$$TL_{attenuation} = \alpha (r \times 10^{-3})dB$$

Dimana, nilai α (koefisien *attenuation*)

$$\alpha = (0.003 + 2.75 \times 10^{-4} f^2 + \frac{0.1f^2}{1 + f^2} + \frac{40f}{4100 + f^2}) \frac{dB}{kilo\ yard}$$



Gambar II. 21 Pengaruh koefisien *attenuation* terhadap frekuensi (Urick, 1983)

Gambar II.21 menggambarkan bahwa nilai koefisien attenuation sangat kecil pada frekuensi gelombang di bawah 10000 Hz dan pada frekuensi tinggi pengaruh penyerapan oleh MgSO₄ paling berpengaruh. Selain itu faktor kedalaman juga berpengaruh terhadap nilai koefisien, nilai koefisien MgSO₄ dipermukaan = 40 dB/km , 30 dB/km dikedalaman 2000m, 22 dB/km dikedalaman 4000m. Selain itu model Francois- Garrison (1982) menyatakan :

$$\alpha = \left(A_1 P_1 \frac{f_1 f^2}{f_1^2 + f^2} + A_2 P_2 \frac{f_2 f^2}{f_2^2 + f^2} + A_3 P_3 f^2 \right)$$

Bagian pertama merupakan asam boric. Bagian kedua merupakan magnesium sulfat. Bagian ketiga merupakan kekentalan. Untuk frekuensi kurang dari 1kHz, nilai $\alpha < 0.01$ dB/km, untuk $f = 10$ kHz, nilai α sekitar 1dB/km, untuk $f=100$ kHz, nilai α sekitar 30-40 dB/km, masing-masing frekuensi dihitung samapi jarak 1 km ,sedangkan untuk frekuensi gelombang $f = 1$ MHz dibatasi sampai jarak 100m.

II.2.6. 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. secara matematis kecepatan rambat gelombang di laut ialah berikut :

$$C(z,S,T, \theta) = 1449.05 + 4.57T - 0.0521T^2 + 0.00023T^2 + (1.333 - 0.0126T + 0.00009T^2) \times (S - 35) + (1.333 - 0.025T)(1 - 0.0026 \cos \theta)z + (0.213 - 0.01T)(1 - 0.0026 \cos \theta)^2 z^2 \times (0.1 - 0.00026 \cos \theta)Tz \quad (II.3)$$

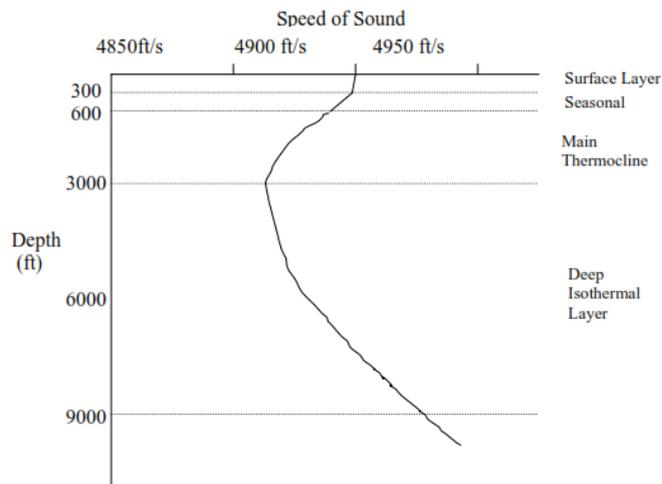
Dimana ,

T = suhu lingkungan (°C)

S = salinitas (ppm)

Z = kedalaman (km)

θ = posisi lintang (deg)



Gambar II. 22 Variasi kecepatan terhadap kedalaman

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

$$\lambda = C/f$$

dimana,

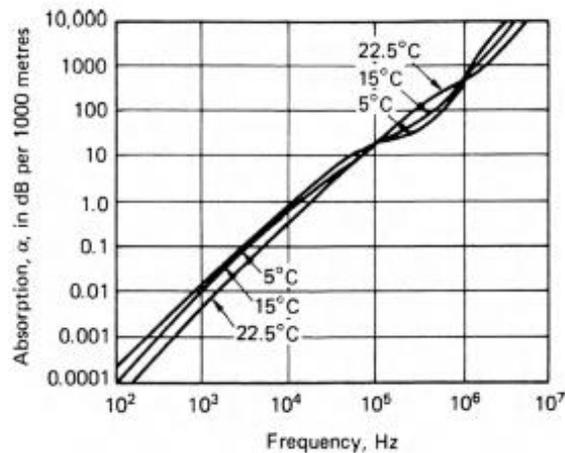
λ = Panjang gelombang (m)

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 10⁴ Hz per 1000 meter cukup signifikan yaitu >10 dB/km (Carlton, 2012). Selain panjang gelombang absorpsi

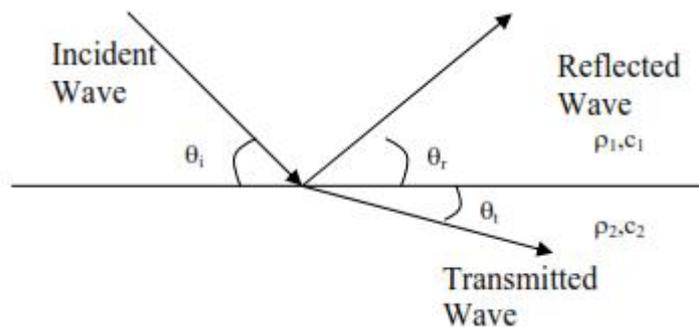
tingkat kebisingan juga dipengaruhi kebisingan sekitar dimana kapal kita beroperasi yaitu akibat pasang surut air, lalu-lintas kapal, seismic dasar laut, maupun hujan.



Gambar II. 23 Penurunan tingkat kebisingan pada frekuensi tertentu selama tranmisi (Carlton, 2012)

II.2.7. 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 II. 24 Hukum Snell

Berdasarkan hukum snell ,didapatkan :

$$\frac{\cos \theta_i}{c_1} = \frac{\cos \theta_t}{c_2}$$

Untuk mendapatkan nilai gelombang yang di pantulkan , kecepatan gelombang datang dengan kecepatan gelombang pantul sama karena masih berada pada medium yang sama,maka:

$$\frac{\cos \theta_i}{c_1} = \frac{\cos \theta_r}{c_1}$$

Sehingga didapatkan nilai sudut gelombang datang sama dengan sudut gelombang pantul.

$$\theta_i = \theta_r$$

II.2.6.1 Koefisien Refleksi

Ketika gelombang di refleksikan rasio antara intensitas gelombang yang datang dengan gelombang yang dipantulkan memiliki keterkaitan sebagai berikut:

$$I_r = R I_i$$

Sehingga didapatkan :

$$R = \frac{I_r}{I_i} = \frac{\frac{P_r^2}{\rho_1 c_1}}{\frac{P_i^2}{\rho_1 c_1}} = \frac{P_r^2}{P_i^2}$$

Untuk mendapatkan besarnya energi yang dipantulkan , dari daerah perbatasan medium harus diketahui, nilai tekanan dan kecepatan secara kontinu di daerah tersebut. Kontinu yang dimaksud ialah kondisi di kedua sisi batas sama. Gelombang datang dan gelombang pantul berada pada sisi yang sama, sehingga besarnya penjumlahan tekanan kedua gelombang ini harus sama dengan tekanan pada gelombang transmisi.

$$P_r + P_i = P_t$$

Begitu juga dengan kecepatan ,mengikuti aturan yang sama ,maka:

$$|u_i| \sin \theta_i - |u_r| \sin \theta_r = |u_t| \sin \theta_t$$

Tanda negatif dalam persamaan menandakan gelombang pantul bergerak berlawanan arah dengan dua gelombang lainnya.Untuk menghubungkan nilai rms kecepatan partikel dengan nilai rms tekanan akustik digunakan:

$$P_a = zu = \rho cu$$

Dimana,

z = impedansi akustik oleh medium = ρc

Jika persamaan ini disubstitusikan ke persamaan kecepatan,didapatkan:

$$\frac{P_i}{\rho_1 c_1} \sin \theta_i - \frac{P_r}{\rho_1 c_1} \sin \theta_r = \frac{P_t}{\rho_2 c_2} \sin \theta_t$$

Selanjutnya substitusikan persamaan tekanan transmisi akustik kedalam persamaan tekanan di perbatasan medium , maka:

$$\frac{P_i}{\rho_1 c_1} \sin \theta_i - \frac{P_r}{\rho_1 c_1} \sin \theta_r = \frac{P_i + P_r}{\rho_2 c_2} \sin \theta_t = \frac{P_i}{\rho_2 c_2} \sin \theta_t + \frac{P_r}{\rho_2 c_2} \sin \theta_t$$

Diawal sudah diketahui bahwa sudut gelombang datang sama dengan sudut gelombang pantul, sehingga dengan melakukan penyusunan kembali persamaan , didapatkan:

$$\frac{P_i}{\rho_1 c_1} \sin \theta_i - \frac{P_r}{\rho_2 c_2} \sin \theta_r = \frac{P_i}{\rho_1 c_1} \sin \theta_i + \frac{P_r}{\rho_2 c_2} \sin \theta_t$$

Disamakan penyebut ,

$$P_i(\rho_2 c_2 \sin \theta_i - \rho_1 c_1 \sin \theta_r) = P_r(\rho_2 c_2 \sin \theta_t + \rho_1 c_1 \sin \theta_t)$$

Atau ,

$$\frac{P_r}{P_i} = \frac{(\rho_2 c_2 \sin \theta_i - \rho_1 c_1 \sin \theta_r)}{(\rho_2 c_2 \sin \theta_t + \rho_1 c_1 \sin \theta_t)} = \frac{(\frac{\rho_2}{\rho_1} \sin \theta_i - \frac{c_1}{c_2} \sin \theta_r)}{(\frac{\rho_2}{\rho_1} \sin \theta_t + \frac{c_1}{c_2} \sin \theta_t)}$$

Nilai koefisien refleksi adalah sebagai berikut :

$$R(\theta_i, \theta_t) = \frac{P_r^2}{P_i^2} = \left[\frac{(m \sin \theta_i - n \sin \theta_r)}{(m \sin \theta_t + n \sin \theta_t)} \right]^2$$

Dimana,

$$m = \frac{P_r}{P_i} ;$$

$$n = \frac{c_1}{c_2}$$

dengan menggunakan identitas trigonometri didapatkan:

$$\frac{\cos \theta_i}{c_1} = \frac{\cos \theta_t}{c_2}$$

$$\cos \theta_t = \frac{c_2}{c_1} \cos \theta_i = \frac{\cos \theta_i}{n}$$

$$\sin \theta_t = \sqrt{1 - \cos^2 \theta_t} = \sqrt{1 - \frac{\cos^2 \theta_i}{n}}$$

Persamaan akhir koefisien refleksi ,yaitu:

$$R(\theta_i) = \left[\frac{m \sin \theta_i - \sqrt{n - \cos^2 \theta_i}}{m \sin \theta_t + \sqrt{n - \cos^2 \theta_t}} \right]^2$$

Untuk mengetahui besarnya desibel yang hilang akibat refleksi digunakan persamaan berikut.

$$dB_{loss} = L_{in} - L_{ref} = 10 \log \frac{I_{in}}{I_o} - 10 \log \frac{I_{ref}}{I_o} = 10 \log \frac{I_{in}}{I_{ref}} = -10 \log \frac{I_{ref}}{I_{in}}$$

$$dB_{loss} = -10 \log(R)$$

II.2.6.2 Koefisien Transmisi/Pembiasan

Untuk mendapatkan koefisien transmisi dilakukan pendekatan yang sama seperti untuk mendapatkan koefisien refleksi, yaitu :

$$T = \frac{I_t}{I_i} = \frac{\frac{P_t^2}{\rho_2 c_2}}{\frac{P_i^2}{\rho_1 c_1}} = \frac{\rho_1 c_1}{\rho_2 c_2} \frac{P_t^2}{P_i^2} = \frac{n}{m} \frac{P_t^2}{P_i^2}$$

Karena energi gelombang datang harus sama dengan jumlah antara energi gelombang pantul dan transmisi ,maka dapat dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$I_r + I_t = I_i$$

Atau,

$$I = \frac{I_t}{I_i} + \frac{I_r}{I_i}$$

$$I = T + R$$

$$T(\theta_i) = 1 - R(\theta_i)$$

Untuk mengetahui besarnya desibel yang hilang akibat transmisi digunakan persamaan berikut.

$$dB_{loss} = L_{in} - L_{trans} = 10 \log \frac{I_{in}}{I_o} - 10 \log \frac{I_{trans}}{I_o} = 10 \log \frac{I_{in}}{I_{trans}} = -10 \log \frac{I_{trans}}{I_{in}}$$

$$dB_{loss} = -10 \log(T)$$

II.2.6.3 Kasus Khusus

Dalam kasus kehilangan didaerah perbatasan medium ini ada beberapa kasus khusus yang dijelaskan sebagai berikut :

c. Sudut Datang

Ketika gelombang datang tegak lurus (90°) permukaan daerah batas, kita dapat menyederhanakan persamaan untuk memperoleh koefisien refleksi menjadi:

$$R = \left(\frac{m - n}{m + n} \right)^2$$

d. Total Refleksi

Ketika total refleksi bernilai 1, maka sudut datang akan lebih kecil dari sudut khusus yang dinamakan sudut kritis. Namun sudut kritis ini hanya berlaku jika medium kedatangan gelombang memiliki kecepatan lebih rendah dibanding medium kedua, secara matematis:

$$\frac{c_1}{c_2}$$

Pada kondisi ini, sudut kritis dapat dihitung menggunakan persamaan snell, dan menjadikan sudut transmisi mendekati nol:

$$\theta_c = \cos^{-1} \left(\frac{c_1}{c_2} \right)$$

e. Angle of Intromission

Ketika total tranmisi bernilai 1, maka keseluruhan gelombang datang di transmisikaan tanpa ada pemantulan sama sekali. Terjadi hanya pada satu sudut , dinamakan *intromission angle* (θ_b) . Dengan memasukan nilai $R = 0$ pada persamaan koefisien refleksi , maka:

$$\theta_b = \sqrt{\frac{(m^2 - n^2)}{(m^2 - 1)}}$$

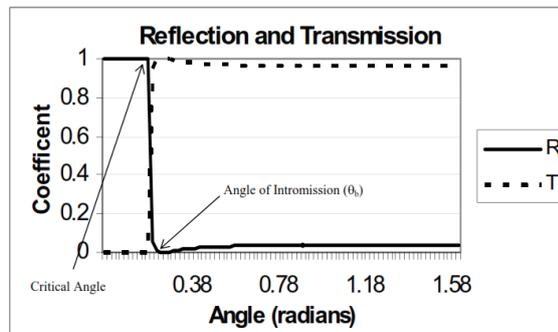
Perlu dipahami nilai $\frac{(m^2 - n^2)}{(m^2 - 1)}$ harus positif dan bernilai kurang dari 1 untuk memunculkan sudut ini, sehingga kasus ini sangat jarang terjadi pada kebanyakan kasus akustik.

II.2.8. Daerah Kerja Propeller

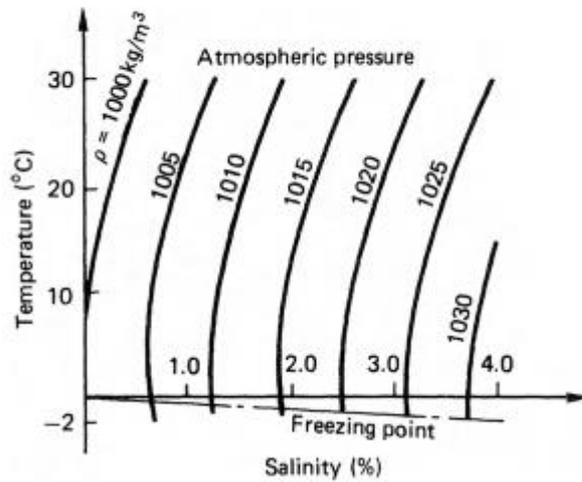
Laut merupakan bagian alam yang kompleks dimana propeller bekerja. Dalam melakukan perancangan propeller sangat diperlukan pengetahuan mengenai karakteristik laut. Berikut ini termasuk didalamnya, yaitu :

a. Massa jenis

Massa jenis air laut sangat bervariasi, mengalami peningkatan seiring peningkatan salinitas dan berbanding terbalik dengan kenaikan suhu. Selain itu kedalaman juga ikut berpengaruh, yang mana massa jenis akan meningkat seiring penambahan kedalaman. Di daerah tropis massa jenis sangat bervariasi terhadap kedalaman ,namun didaerah subtropis- kutub kenaikan maasa jenis terhadap kedalaman bisa diabaikan.



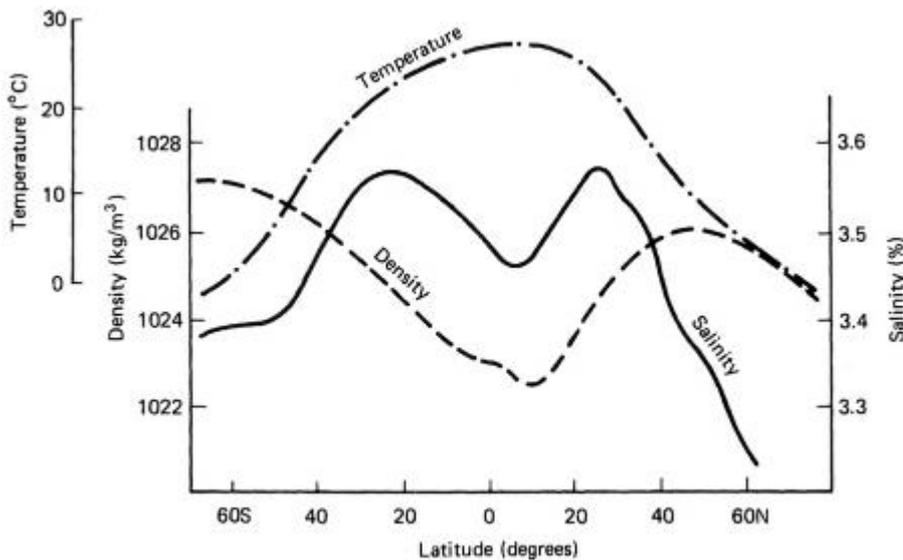
Gambar II. 25 Boundary loss



Gambar II. 26 Massa jenis terhadap salinitas dan temperature (Carlton, 2012)

b. Salinitas

Salinitas atau persentase kadar garam dilautan bervariasi antara 3,4 – 3,6 persen. Terendah di daerah kutub dan mencapai dua kali lipat di daerah tropis. Salinitas permukaan dan kedalaman berbeda namun semakin dalam nilai kenaikan bisa diabaikan. Kadar salinitas dapat ditentukan melalui tingkat ion klorin yang terdapat dilautan.



Gambar II. 27 Variasi temperatur, salinitas dan massa jenis terhadap posisi lintang (Carlton, 2012)

c. Suhu

Suhu dipermukaan laut cenderung bervariasi terhadap posisi lintang, umumnya antara 28°C sampai -2°C untuk daerah kutub. Secara vertikal (kedalaman) perubahan suhu dapat dibagi menjadi 3 wilayah, yaitu: Pertama, antara 50 m sampai 200 m, suhu di daerah ini cenderung

mendekati nilai suhu permukaannya. Kedua, sampai kedalaman 1000 m, suhu didaerah ini turun sangat drastis . Ketiga, sampai dasar laut ,penurunan suhu yang terjadi sangat kecil.

d. Viskositas

Kekentalan menimbulkan hambatan relatif antar lapisan fluida yang berdekatan, sehingga ketika benda bergerak di fluida yang pada kasus propeller kapal berupa air, akan timbul tegangan geser yang menghambat gerak propeller. Kecepatan disekitar permukaan akan bervariasi antar satu lapisan dengan lapisan lainnya sehingga berdasarkan postulat Newton besarnya tegangan geser ini sebanding dengan gradien kecepatan.

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y}$$

Nilai μ merupakan koefisien viskositas dinamis ,Secara umum permasalahan desain propeller berfokus pada interaksi kekentalan terhadap inersia yang diekspresikan dengan angka Reynold. Untuk mendukung hal ini perlu diketahui besarnya viskositas kinematis yang bisa didapatkan melalui pembagian nilai viskositas dinamis terhadap massa jenis.

Tabel II. 1 Variasi viskositas kinematis air laut

Suhu (°C)	0	5	10	15	20	25	30
Densitas (kg/m ³)	1028.1	1027.7	1026.8	1025.9	1024.7	1023.3	1021.7

e. Tekanan Uap

Molekul air di permukaan akan mengalami perpindahan, baik air menjadi uap juga sebaliknya. Molekul yang kembali ke air akan menimbulkan tekanan yang hanya ada di permukaan , dinamakan tekanan parsial. Molekul yang meninggalkan air juga menimbulkan tekanan yang dinamakan tekanan uap, besarnya ditentukan dari banyaknya molekul yang meninggalkan air. Ketika jumlah molekul yang meninggalkan air sama dengan jumlah yang kembali, kondisi ini disebut tekanan jenuh (*saturation pressure*). Jika tekanan jenuh meningkat di atas tekanan total yang bekerja pada permukaan fluida molekul air akan terlepas dengan sangat cepat , fenomena ini dikenal sebagai mendidih pada suhu lingkungan , umum terjadi saat kavitasi. Dalam kondisi ini gelembung uap terbentuk dalam cairan dan kemudian naik ke permukaan. Efek yang sama akan terjadi ketika terdapat gas yang terlarut di air , sehingga ketika terjadi penurunan tekanan gas terlarut ini akan menguap , nilai penurunan tekanan yang dibutuhkan jauh lebih kecil dibanding penurunan tekanan yang harus terjadi untuk suatu cairan

menguap. Oleh karenanya tekanan air diusahakan tidak berada di bawah tekanan uap, sehingga fenomena gelembung yang menurunkan efisiensi dapat dihindari

f. Kandungan Gas Terlarut

Kandungan gas terlarut yang paling banyak di lautan adalah nitrogen, oksigen dan argon. Namun masih banyak kandungan gas lain yang dapat ditemukan di dalamnya. Jumlah kandungan gas ini dipengaruhi salinitas dan suhu, jumlah terbanyak ditemukan di perairan dingin dengan salinitas rendah. Di kedalaman, semua gas kecuali oksigen, cenderung berada pada titik jenuh. Kondisi ini hampir sama terjadi di semua lautan. Sebagaimana telah disampaikan bahwa kandungan gas ini berkaitan dengan kavitasi. Pengertian kavitasi ialah penurunan tekanan fluida di bawah tekanan uap pada suhu keliling yang tetap sehingga timbul gelembung, gelembung ini disebut inti (*nuclei*) karena ukurannya yang sangat kecil. Dalam percobaan di terowongan kavitasi perlu diketahui jumlah *nuclei* yang tepat sehingga hasil yang didapatkan realistis. Untuk mendapatkan hasil yang akurat, persebaran *nuclei* harus mempertimbangkan cuaca, rute pelayaran, dan kedalaman. Oleh karenanya nilai kavitasi kapal cenderung berbeda selama beroperasi, karena setiap rute pelayaran memiliki kandungan gas terlarut yang berbeda.

g. Tegangan Permukaan

Tegangan permukaan, sangat erat kaitannya dengan fisika. Namun di dunia rekayasa teknik berkaitan dengan dinamika gelembung dan ventilasi yang terjadi pada fenomena kavitasi. Antar molekul saling tarik-menarik sampai empat kali jarak rata-rata molekul, gaya ini menjaga keseimbangan antara batas air dengan udara. Semakin banyak volume permukaan zat cair, semakin besar nilai pertukaran molekul antar perbatasan. Interaksi antar molekul ini mampu mencegah suatu objek yang kecil tetap berada di permukaan. Karena gaya yang dimiliki belum melebihi gaya antar zat yang menimbulkan tegangan permukaan. Nilai tegangan permukaan ini dipengaruhi kontaminan, seperti deterjen, minyak.

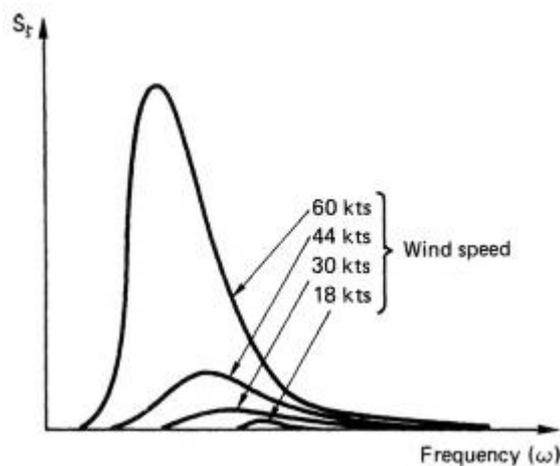
h. Organisme dan Dasar perairan

Organisme berkaitan erat dengan fouling yang terjadi di permukaan daun propeller, secara umum dibedakan menjadi fouling akibat alga dan fouling akibat hewan laut seperti kerang. Pembentukan fouling akibat hewan membutuhkan waktu beberapa hari, sangat berbeda dengan fouling yang disebabkan alga, hanya membutuhkan waktu hitungan jam. Selain itu keadaan

dasar perairan seperti lumpur ,partikel *abrasive* perlu dipertimbangkan dalam operasional propeller.

i. Cuaca

Cuaca menjadi pertimbangan penting untuk propeller yang beroperasi di dekat permukaan air. Cuaca berkaitan dengan angin dan tinggi gelombang yang dihasilkan, semakin tinggi kecepatan angin nilai frekuensi amplitude gelombang tertinggi bergeser ke frekuensi lebih rendah.



Gambar II. 28 Spektrum gelombang

II.2.9. 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 Intesitas gelombang didapat melalui persamaan :

$$I = P^2 / 2 \rho c$$

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 :

$$L = 10 \text{ Log } (I/I_0)$$

dimana,

I = Intesitas gelombang (W/m^2)

I_0 = Intesitas acuan (W/m^2)

Nilai tekanan yang dijadikan acuan dalam menghitung intesitas acuan (I_0) adalah 1×10^{-6} Pa dengan kecepatan suara di air sebesar 1500 m/s sehingga nilai Intesitas acuannya sebesar

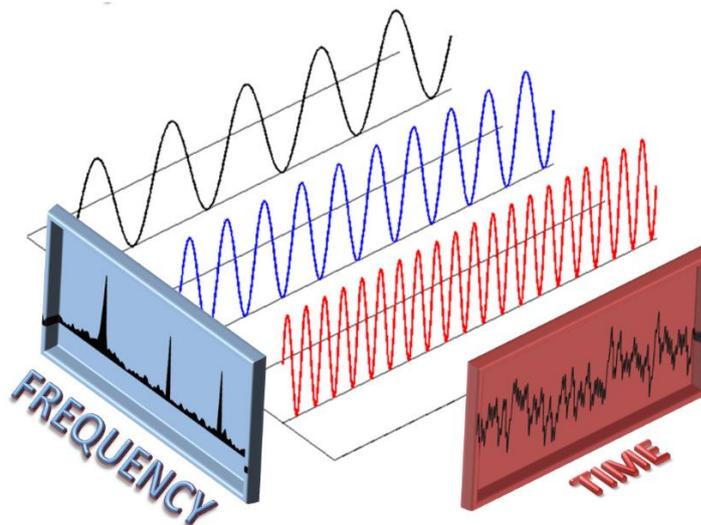
$6.67 \times 10^{-19} \text{ W/m}^2$. Menentukan nilai intensitas acuan ini penting karena nilai yang umum digunakan sebesar 1.10^{-12} W/m^2 merupakan nilai yang hanya berlaku di udara, yang mana massa jenisnya, $\rho = 1.21 \text{ kg/m}^3$ dan kecepatan rambat suara, $c = 343 \text{ m/s}$. Kesalahan 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 :

$$\text{SPL} = 50 \text{ dB}_{\text{re } 1 \mu\text{Pa}}$$

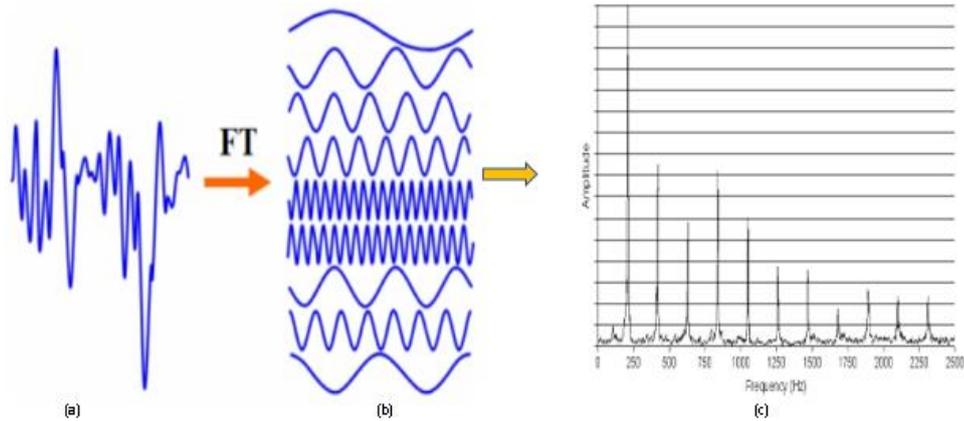
II.2.10. *Fast Fourier Transform*

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 II. 29 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 mabadakan 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 II. 30 a) Gelombang awal domain waktu ; b) dikret gelombang; c) gelombang domain frekuensi

Secara umum bentuk persamaan sinusoidal FFT yaitu :

$$x(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \sin\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) + j \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \dots (8)$$

dimana :

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

II.3. Computational Fluid Dynamics

Computational Fluid Dynamics (CFD) adalah simulasi numeris yang secara akurat menggambarkan proses aliran fluida. Penggunaan CFD bisa dilakukan untuk memodelkan hampir semua aspek dari aliran fluida, termasuk fluida *compressible*, *non isothermal*, *non-Newtonian*, *multiphase*, *porous media* dengan menggunakan aliran laminar ataupun turbulen. Dengan menggunakan software CFD bisa juga dilakukan kontrol penuh pada simulasi yang akan terjadi dengan memasukkan persamaan matematis tertentu. Dalam proses analisisnya, CFD menggunakan persamaan yang didasarkan pada dinamika fluida yaitu persamaan kontinuitas, serta momentum dan energy. Persamaan-persamaan ini merupakan pernyataan matematis untuk tiga prinsip dasar fisika:

- a. Hukum Kekentalan Massa
- b. Hukum Kedua Newton
- c. Hukum Kekentalan Energi

Persamaan yang digunakan untuk menyelesaikan CFD ini adalah persamaan Navier-Stokes. Persamaan ini menyatakan bahwa perubahan dalam momentum (percepatan) partikel-partikel fluida bergantung hanya kepada gaya viskos yang bekerja pada fluida. Oleh karena itu persamaan Navier-Stokes memiliki bentuk persamaan differensial yang menerangkan pergerakan suatu fluida . Penggunaan metode CFD ini didasarkan atas beberapa perbedaan dengan metode eksperimen.

Tabel II. 2 Perbedaan eksperimen dengan simulasi numerik

EKSPERIMEN	SIMULASI CFD
<ul style="list-style-type: none"> ○ Pengujian hanya bisa dilakukan sekali dalam satu waktu ○ Hanya bisa memodelkan aliran fluida dalam skala laboratorium ○ Fenomena yang dimodelkan terbatas ○ Jika ingin mengganti model harus melakukan pembuatan lagi dari awal atau untuk memodifikasi membutuhkan waktu yang lebih lama ○ Biaya mahal ○ Lambat ○ Harus dilakukan pengujian berurutan 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Pengujian bisa dilakukan sebanyak jumlah yang diperlukan ○ Bisa memodelkan aliran fluida sebenarnya didalam domain ○ Bisa memodelkan fenomena sesuai dengan kondisi operasi sebenarnya ○ Jika ingin mengganti model membutuhkan waktu yang relative singkat ○ Biaya murah ○ Cepat ○ Bisa dilakukan secara paralel

II.3.1. Pre-Processor

Preprocessor adalah tahap dimana data diinput mulai dari pendefinisian domain serta pendefinisian kondisi batas atau *boundary condition*. Ditahap itu juga sebuah benda atau ruangan yang akan analisa dibagi-bagi dengan jumlah grid tertentu atau sering disebut juga dengan meshing.

Proses *meshing* ini dilakukan dengan membagi elemen-elemen dari model menjadi lebih rapat. Pembagian elemen-elemen ini jadi lebih rapat membuat jumlah elemen jadi lebih banyak yang berujung kepada semakin lamanya waktu komputasi.

II.3.2. Processor (Solver)

Pada tahap ini dilakukan proses penghitungan data-data input dengan persamaan yang terlibat secara iteratif. Artinya penghitungan dilakukan hingga hasil menuju error terkecil atau hingga mencapai nilai yang konvergen. Penghitungan dilakukan secara menyeluruh terhadap volume kontrol dengan proses integrasi persamaan diskrit. Tahap akhir merupakan tahap *post-processor* dimana hasil perhitungan diinterpretasikan ke dalam gambar, grafik bahkan animasi dengan pola-pola warna tertentu.

Hal yang paling mendasar mengapa konsep CFD (*software* CFD) banyak sekali digunakan dalam dunia industri adalah dengan CFD dapat dilakukan analisa terhadap suatu sistem dengan mengurangi biaya eksperimen dan tentunya waktu yang panjang dalam melakukan eksperimen tersebut. Atau dalam proses design engineering tahap yang harus dilakukan menjadi lebih pendek. Hal lain yang mendasari pemakaian konsep CFD adalah pemahaman lebih dalam akan suatu masalah yang akan diselesaikan atau dalam hal ini pemahaman lebih dalam mengenai karakteristik aliran fluida dengan melihat hasil berupa grafik, vektor, kontur dan bahkan animasi.

II.3.3. Navier Stokes

Navier stokes *equation* merupakan persamaan yang diturunkan dari hukum kedua Newton : kekekalan momentum (sering bersama massa dan konservasi energi) yang merupakan bagian dari fluida. Persamaan ini mampu memodelkan bagaimana fluida mengalir. Secara matematis bentuk umum dari persamaan gerak fluida adalah :

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \nabla u \right) = - \nabla P + \nabla \cdot T + f$$

di mana ,

ρ = massa jenis fluida,

u = vektor kecepatan,

P = tekanan fluida,

T = *total stress tensor*

f = *body forces*

Sisi kiri dari persamaan menggambarkan percepatan bergantung terhadap waktu atau konveksi, juga efek dari koordinat non-inersia. Sisi kanan dari persamaan merupakan penjumlahan *body forces* (seperti gravitasi) dan tegangan terhadap benda (tekanan dan tegangan

geser). Aliran *viscous* merupakan aliran yang dapat dijelaskan dengan menggunakan persamaan aliran dengan memperhitungkan fenomena pemindahan gesekan (*friction*), konduksi/hantaran panas dan atau penyebaran massa.

II.3.4. Ffowcs Williams and Hawkings

Untuk melakukan kalkulasi kebisingan pada *software* ANSYS ,digunakan 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. Menurut Ozden *et al.* (2016)Untuk memperoleh hasil yang akurat dari variabel tekanan,kecepatan,densitas terhadap perubahan waktu dapat digunakan URANS (*Unsteady Reynold Average Navier Stokes*) , LES (*Large Eddy Simulation*) atau DES (*Detached Eddy Simulation*) ,selain itu domain yang menjadi objek perhitungan harus memiliki grid yang baik dengan penggunaan time step yang sangat kecil.

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

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

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

$$u_n = u_i n_i J(U, V) = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^c (u_{ik})^m D(x_k, v_i)^2$$

Dimana ;

u_i = Kecepatan searah sumbu-x

u_n = Kecepatan normal terhadap permukaan

v_i = Kecepatan local permukaan searah sumbu-x

v_n = Kecepatan local permukaan normal terhadap permukaan

H(f) = Fungsi Heaviside

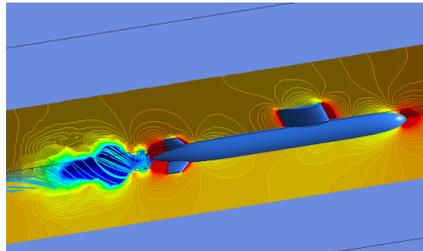
$\delta(f)$ = Dirac Delta

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 *quadrupole noise*.

II.3.5. Post Processor

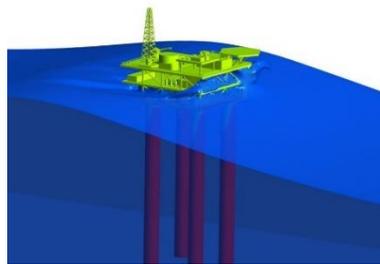
Post Processor merupakan langkah terakhir dalam analisis CFD. Pada tahapan ini dilakukan interpretasi dari data hasil simulasi yang dapat berupa visualisasi kontur, animasi, vektor, kurva, histogram, dan lain sebagainya. Berikut beberapa contoh penerapan CFD didunia perkapalan dan kelautan:

- a. Mensimulasikan persebaran tekanan disepanjang lambung kapal.



Gambar II. 31 Persebaran tekanan

- b. Mensimulasikan free *surface* pada kapal



Gambar II. 32 *Free surface* pada *platform*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

”Sesungguhnya ilmu itu cahaya ,dan cahaya tidak akan didapat oleh orang-irang yang bermaksiat”
(Imam Syafe’i)

BAB III METODOLOGI

III.1. Metode

Metode yang digunakan pada pengerjaan Tugas akhir ini ialah simulasi computer untuk memperoleh nilai kebisingan yang akan dibandingkan dengan variasi peletakkan fin, menggunakan software ANSYS Fluent.

III.2. Langkah Pengerjaan

III.2.1. Studi Literatur

Tahap pertama yang dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini yaitu studi literatur. Studi literatur adalah teori-teori yang akan digunakan dalam menyelesaikan tugas akhir serta untuk lebih memahami permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini. Studi literatur yang dilakukan berkaitan dengan kebisingan kapal selam, jenis propeller yang akan digunakan, besarnya frekuensi kebisingan yang ditinjau, cara mendapatkan nilai kebisingan secara numerik. Referensi-referensi untuk mengerjakan tugas akhir ini didapat dari buku, jurnal ilmiah, *paper*, tugas akhir, tesis mahasiswa sebelumnya yang masih berkaitan, serta *browsing* dari internet.

III.2.2. Pengumpulan Data

Tahap kedua setelah studi literatur adalah pengumpulan data yang dibutuhkan. Data tersebut harus meliputi segala sesuatu yang dibutuhkan dan berhubungan dalam pengerjaan perhitungan dan permodelan kebisingan kapal. Ada beberapa pengelompokan data tersebut, yakni:

a. Data Ukuran Kapal Selam

Data ini sangat dibutuhkan dimana nantinya data ini akan menjadi untuk memperoleh data *wake* yang di hasilkan akibat interaksi fluida dengan lambung sebelum mengenai propeller

b. Data propeller

Data ini diperlukan untuk memodelkan *wake* yang masuk ke propeller yang sedang bekerja sehingga perbedaan tekanan yang terjadi dapat diukur menjadi besaran kebisingan

III.2.3. Membuat Model

Pada Tahap ini dilakukan pembuatan model kapal selam menggunakan software Solidwork, ukuran utama yang disesuaikan dengan rasio yang dicantumkan dalam publikasi penelitian yang dilakukan Departemen pertahanan Perancis (DARPA/La Defense Advanced Research Project Agency). Sedangkan model propeller dibuat menggunakan software Hydrocomp PropCAD dan perbaikannya menggunakan Solidwork, dengan menyesuaikan data propeller yang digunakan di Kapal milik Pertamina Shipping yang diklasifikasikan di Beaureau Veritas(BV).

III.2.4. Simulasi Numerik

Pada tahap ini digunakan aplikasi CFD sebagai *solver* dan *simulator* dalam penelitian Tugas Akhir ini. Berikut ini merupakan tahapan yang digunakan dalam simulasi CFD:

- *Pre-Processor*

Pada tahap ini memroses model yang telah dibuat dengan memberikan domain, melakukan meshing, memberikan penamaan terhadap bagian-bagian yang nantinya akan ditinjau.

- *Processor/Solver*

Solver atau *processor* merupakan tahap perhitungan yang dilakukan pada aplikasi Fluent. Dalam proses *solver* ini dimasukkan data-data fisis terkait simulasi, lalu ditentukan batas konvergensi dengan besaran tertentu guna mencapai hasil yang diinginkan.

- *Post Processor*

Pada tahap ini dilakukan perhitungan hasil serta visualisasi menggunakan CFD Post. Aplikasi ini menyediakan informasi berupa data, gambar dan animasi.

III.2.5. Menganalisa Aliran

Pada Tahap ini dimodelkan aliran yang terjadi di sekitar kapal menggunakan CFD post. Pertama menentukan persebaran tekanan di sekitar lambung, lalu menentukan titik-titik untuk memastikan domain yang dibuat telah memenuhi hukum Bernoulli. Setelah itu dilakukan pembuatan animasi moving mesh untuk memastikan pengaturan yang telah diterapkan benar.

III.2.6. Mengukur tingkat kebisingan

Pada tahap ini melakukan pengukuran tingkat kebisingan, sebelum melakukan tingkat kebisingan harus dilakukan running kasus secara transient sehingga didapatkan nilai yang

konvergen, setelah itu dilakukan pengaktifan model akustik yang disediakan fluent, disini kita menentukan sumber kebisingan ,letak receiver, karakteristik daerah transmisi gelombang suara.

III.2.7. Validasi Hasil

Pada tahap ini data yang telah diperoleh dari hasil numerik dengan ANSYS akan divalidasi. Terdapat 2 parameter yang digunakan pada tahap validasi data yaitu:

1. Konvergensi

Analisis kebenaran internal dimana tingkat kesalahan yang dirancang dipenuhi oleh model yang dikembangkan. Pada tahap ini tingkat kesalahan ditentukan pada value 10^{-4} .

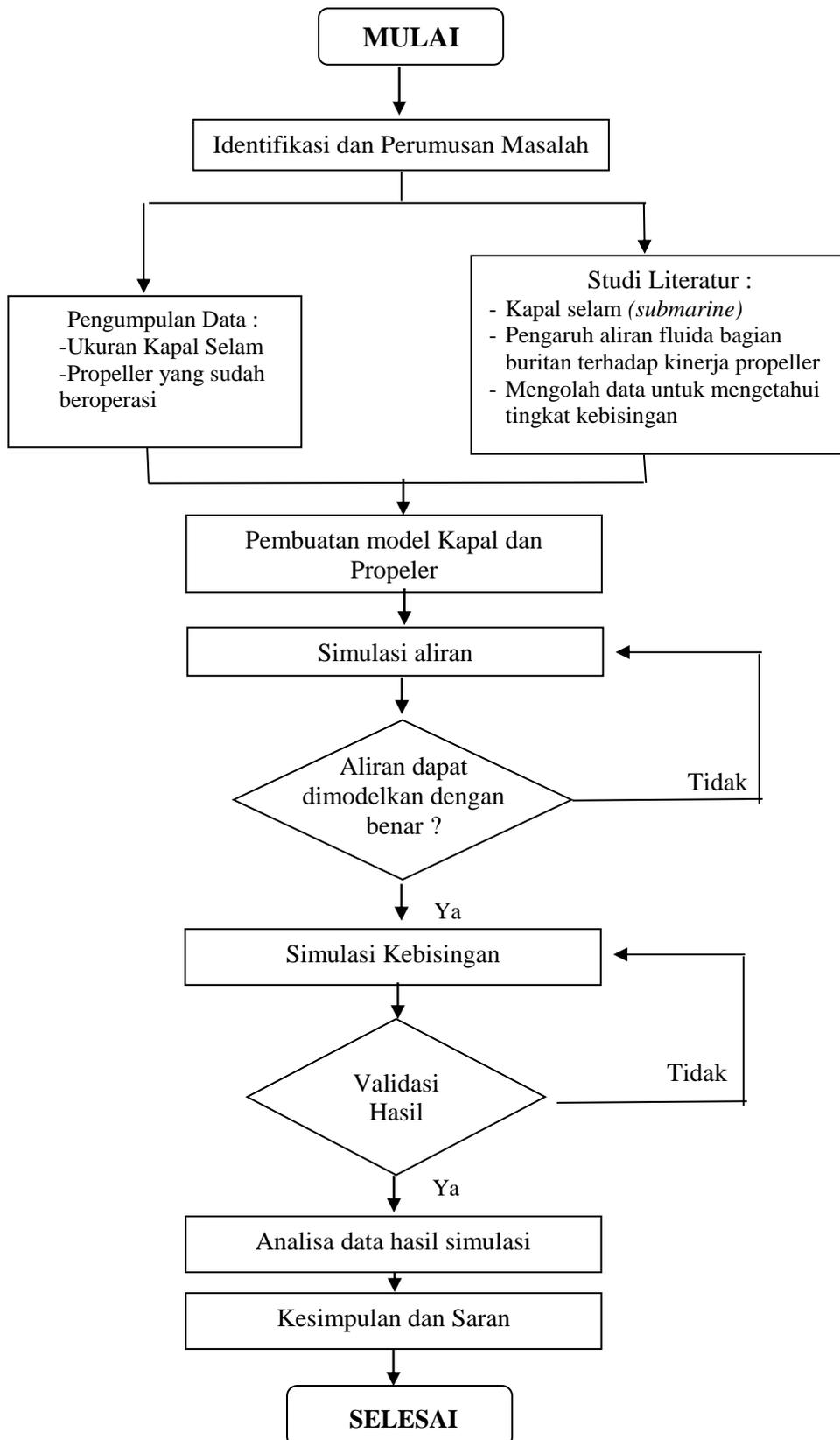
2. Grid Independensi

Besarnya jumlah elemen atau *grid* yang digunakan dalam perhitungan akan menentukan keakurasian hasil yang diperoleh karena jumlah elemen mempengaruhi perubahan bentuk geometri pada saat pemrosesan hasil. Pada tahap ini hasil numerik yang telah didapatkan diuji dengan jumlah elemen yang berbeda. Hasil simulasi dinyatakan valid apabila jumlah elemen yang digunakan tidak mempengaruhi hasil simulasi. Pada tahap ini hasil simulasi dikatakan valid apabila selisih hasil kurang dari 2%.

III.3. Lokasi Pengerjaan

Pengerjaan Tugas Akhir ini dilakukan Laboratorium Desain Kapal ,Departemen Teknik Perkapalan

III.4 Bagan Alir



BAB IV SIMULASI CFD

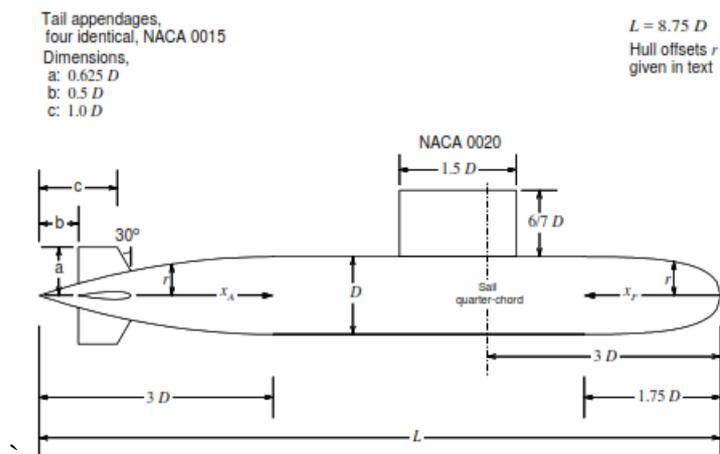
IV.1. Pembuatan Model

Model uji numeris yang akan dikerjakan pada tugas akhir ini terbagi menjadi 2 bagian yaitu desain lambung kapal dan desain propeller. Proses pembuatan model uji numeris terbagi atas beberapa tahapan berikut:

Dalam studi kasus penulis, data kapal diperoleh dari Publikasi Penelitian Lembaga Pertahanan Perancis, dengan data sebagai berikut :

IV.1.1. Model Lambung Kapal

Dalam studi kasus penulis, data kapal diperoleh dari publikasi penelitian Lembaga Pertahanan Perancis, dengan data sebagai berikut :



Gambar IV. 1 Penampang melintang DARPA suboff

Tabel IV. 1 Rasio ukuran lambung

Nama	rasio
<i>Length to diameter ratio</i>	8.75 D
<i>Nose length</i>	1.75 D
<i>Midbody length</i>	4 D
<i>Tail length</i>	3D

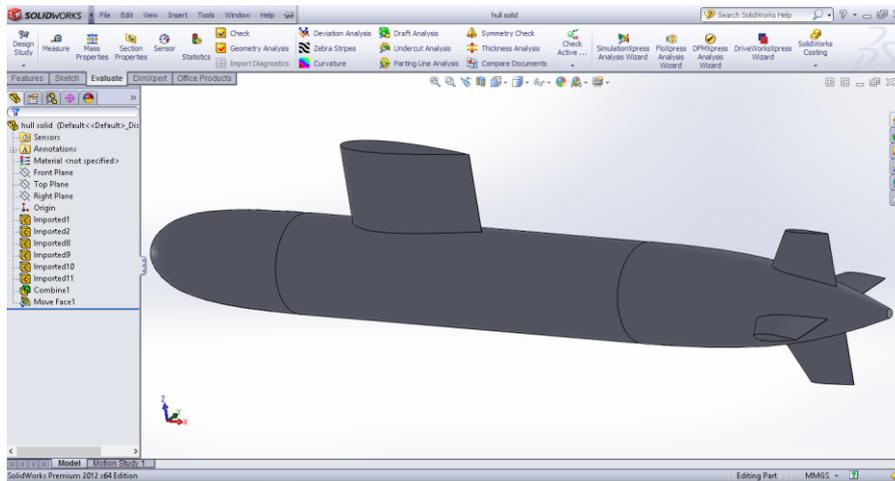
Rumusan menentukan kurvatur nose :

$$\frac{r}{D} = 0.8685 \sqrt{\frac{Xf}{D}} - 0.3978 \frac{Xf}{D} + 0.006311 \left(\frac{Xf}{D}\right)^2 + 0.005086 \left(\frac{Xf}{D}\right)^3$$

Rumusan menentukan kurvatur tail :

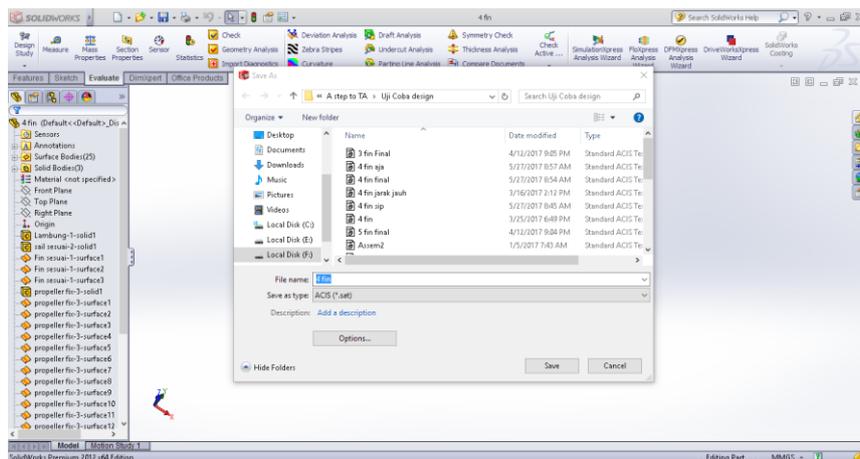
$$\frac{r}{D} = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{XA}{D}} - \frac{1}{18} \left(\frac{XA}{D}\right)^2$$

Lambung propeller dimodelkan dengan bantuan software solidworks. Langkah pertama yang dilakukan ialah memasukkan gambar penampang memanjang kapal selam di halaman kerja. Kemudian melakukan redraw mengikuti gambar sesuai dengan rasio yang dilampirkan di Laporan hasil Penelitian Departemen Pertahanan Perancis.



Gambar IV. 2 Geometri kapal selam

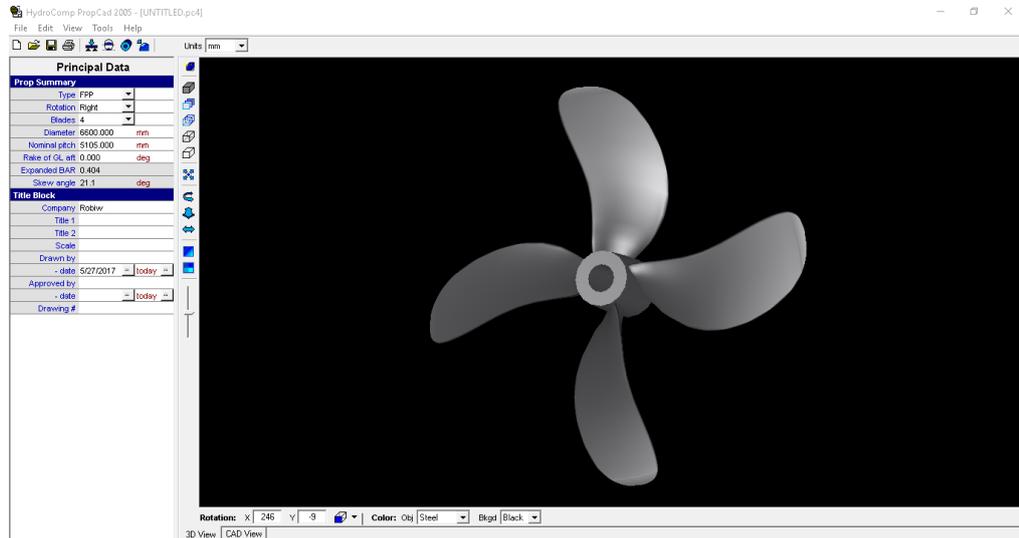
Langkah selanjutnya yang dilakukan adalah mengekspor model lambung Kapal selam supaya bisa dilakukan *running* pada software CFD. Format *file SLDPRT* diekspor menjadi format *sat*. Pengeksporan ini bertujuan supaya model lambung Kapal selam bisa di *meshing*.



Gambar IV. 3 Ekspor format model

IV.1.2. Model Propeller

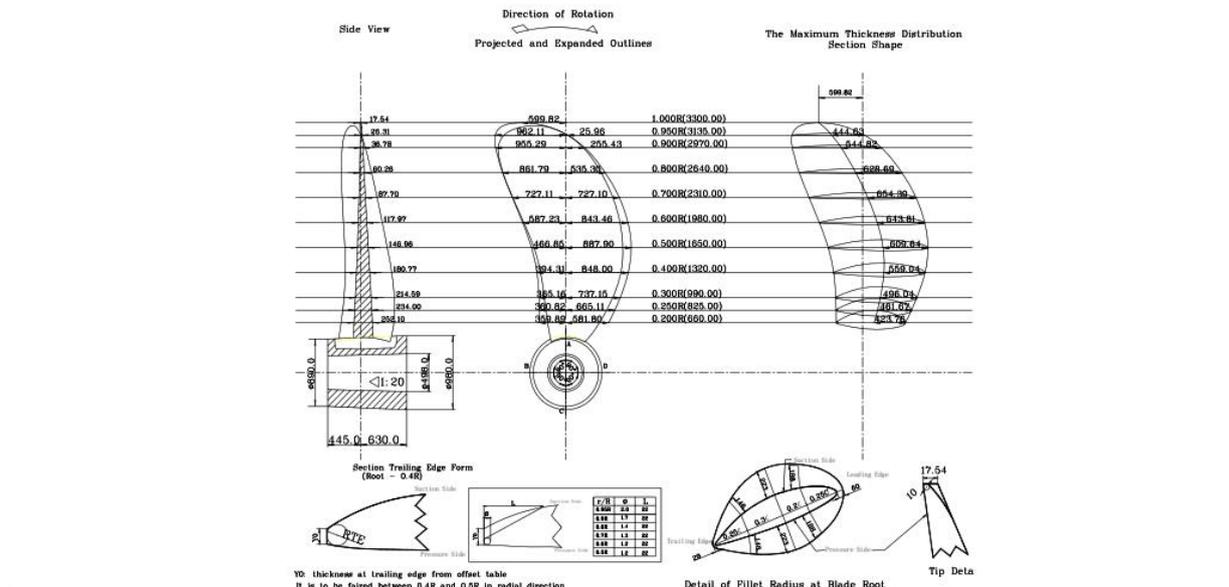
Mendesain propeller dengan bantuan software Hydrocomp PropCad 2005, menggunakan data propeller yang digunakan pada kapal PT.Pertamina yang telah digunakan pada penelitian Garry (2016) ,dengan perbaikan geometri yang memiliki celah.



Gambar IV. 4 Model propeller

BUREAU VERITAS
 Stamped document, refer to 1st page
 5 The Projection Outlines

The projection outlines of the designed propeller are shown in Figure I.



Gambar IV. 5 Data propeller

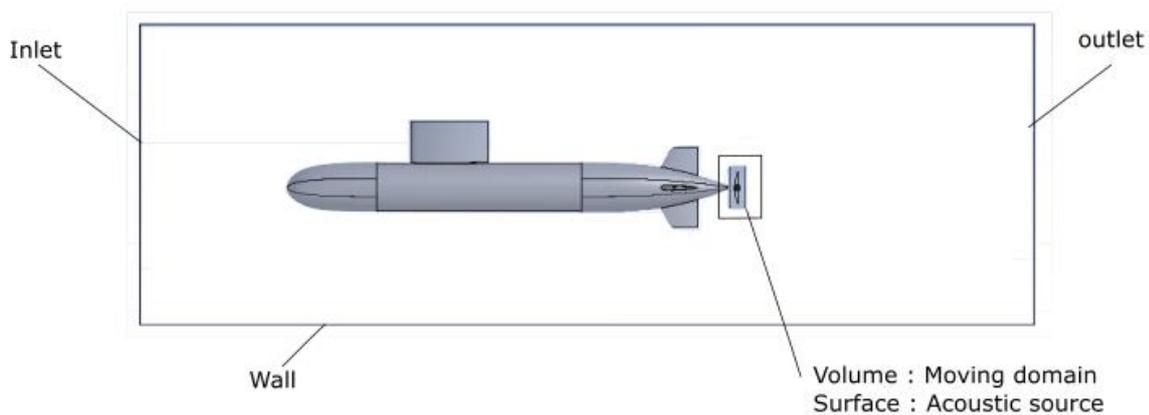
Pertama-tama ketebalan setiap r/R, jarak ketebalan maksimum terhadap line generator, besarnya chord tiap section r/R yang didapat dari gambar blueprint. Lalu masukkan

data-data tadi ke *software* sehingga *software* akan menerjemahkannya ke dalam gambar. Setelah bentuk daun selesai, selanjutnya menambahkan *boss* dan memperbaiki sambungan antara *boss* dan *root* daun. Dari bentuk propeller yang didapat, file diekspor ke macro. File macro ini dapat diproses di *software solidwork* untuk memperbaiki geometri propeller sehingga dapat dimeshing. Setelah geometri selesai diperbaiki, model di ekspor ke *.igs*.

IV.2. Simulasi CFD

IV.2.1. Membuat Geometri

Seluruh geometri yang telah dibuat diimport ke geometri. Setelah proses pengimportan model selesai, selanjutnya memberikan domain atau boundary disekitar model. Selain itu domain juga diberikan melingkupi propeller domain ini yang akan dimoving meshingnya. Setelah pembagian domain selesai, lakukan pendefinisian bagian meshing menggunakan *name selection* pada bagian-bagian domain



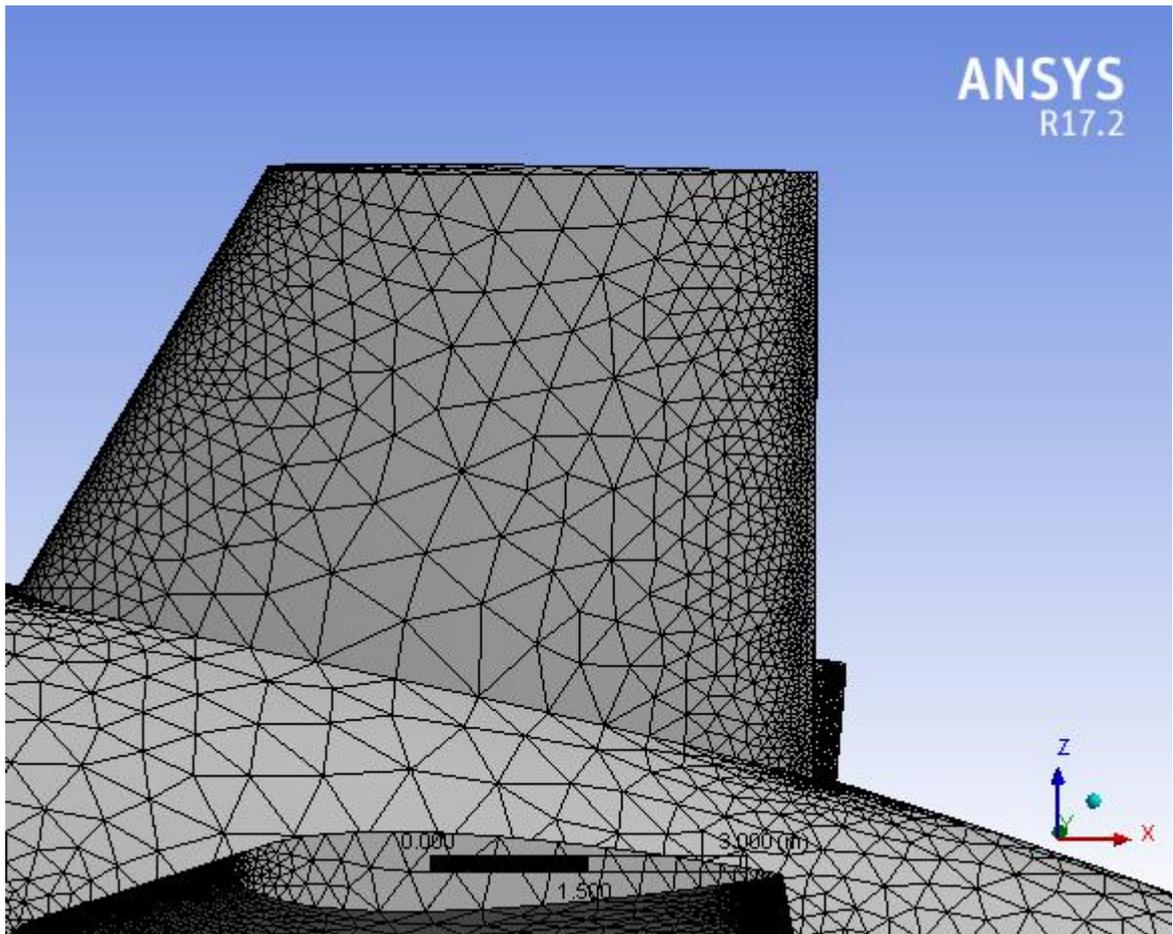
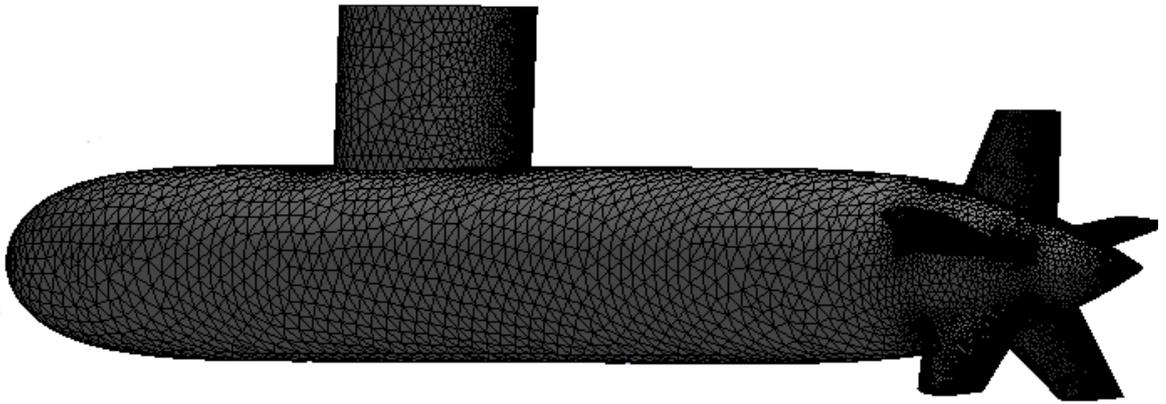
Gambar IV. 6 Penamaan bagian-bagian geometri

Setelah model dan *enclosure* selesai disusun kemudian kita rubah *enclosure* tersebut menjadi domain menggunakan *Boolean*. Untuk *Rotating Domain* dipilih *Substract Boolean* kemudian kita tentukan *Cylinder Enclosure* sebagai *Target Bodies* dan *Propeller* sebagai *Tool Bodies* dan pada pilihan *Preserve Tool Bodies* kita pilih *No*. Untuk *Wall Domain* kita pilih *Substract Boolean* kemudian kita tentukan *Box Enclosure* sebagai *Target Bodies* dan *Cylinder Enclosure* sebagai *Tool Bodies* dan pada pilihan *Preserve Tool Bodies* kita pilih *Yes*.

IV.2.2. Meshing

Setelah proses pembuatan geometry kapal selesai. Proses selanjutnya ialah meshing model. Pada tahap ini perlu diperhatikan bagian yang memiliki kurvatur ekstrim (ujung foil pada sail, fin, propeller) karena bentuk ini memiliki ujung lancip/foil sehingga memerlukan ukuran

element yang kecil. Pada rotating domain diperlukan meshing yang rapat sehingga nilai kebisingan yang akan diperoleh lebih akurat (Yu-cun & Huai-xin, 2010). Berikut ini adalah gambar hasil meshing yang telah dilakukan.



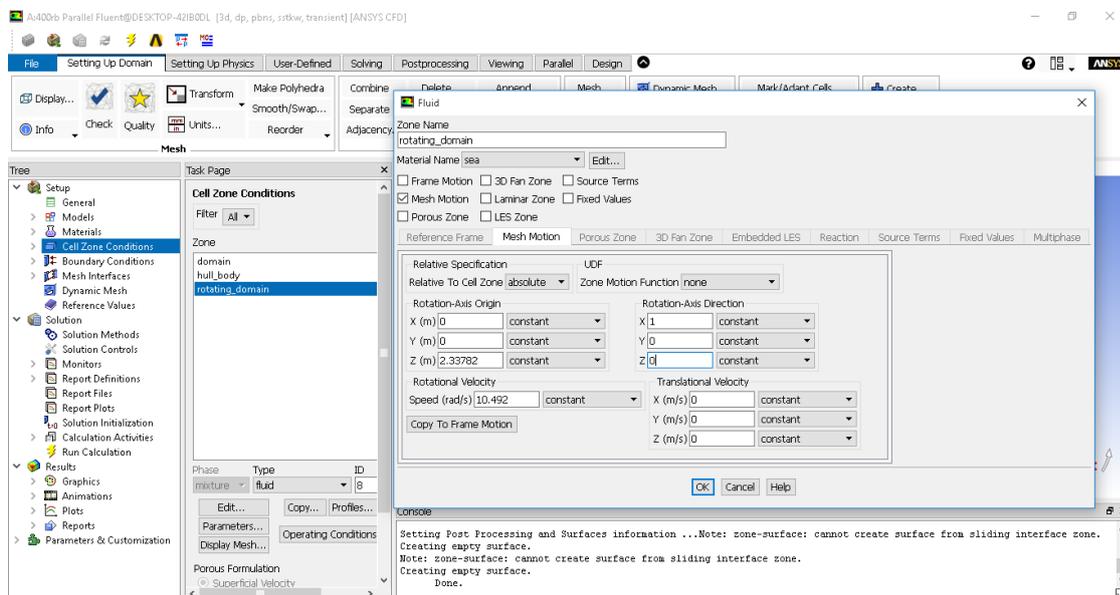
Gambar II. 33 Hasil meshing

IV.2.3. Solver

Setelah proses meshing selesai proses selanjutnya ialah penentuan jenis solver ,disini dipilih pressure based solver ,karena kasus yang diamati merupakan *incompressible* dengan kecepatan rendah. RANS solver dengan turbulensi SST k- ω .Penyelesaian transient dilakukan dengan *second order solver* pada *pressure,velocity,momentum,turbulent kinetic energy*,dan *specific dissipation rate* .Kecepatan dan tekanan di padukan menggunakan scheme SIMPLE.

IV.2.3.1 Simulasi Aliran Fluida

Untuk Menyelesaikan masalah kebisingan domain propeller harus menggunakan moving mesh hal ini dikarenakan nilai kebisingan yang diperoleh melalui moving mesh lebih akurat (Kellet,2013) ,settingan dilakukan di *cell zone condition*.



Gambar IV. 7 Pengaturan *cell zone condition*

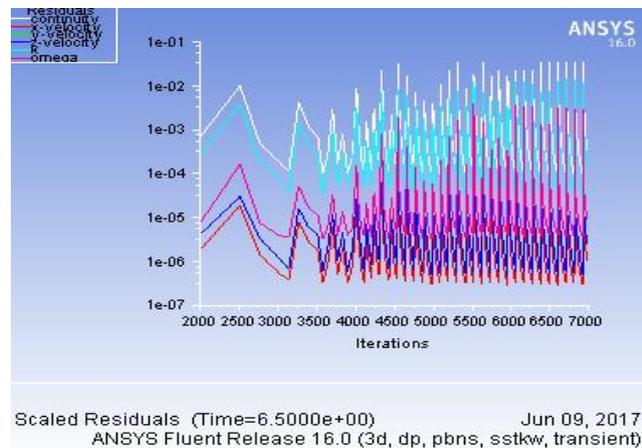
Selanjutnya mendefinisikan kondisi simulasi dimana kondisi batas terdiri dari inlet,oulet,wall dan model itu sendiri. Kondisi batas *inlet* didefinisikan sebagai tempat masuknya fluida pada proses simulasi.Pada daerah ini kecepatan mengalirnya fluida didefinisikan untuk menginterpretasikan besar laju dari fluida yaitu air. Daerah sebagai tempat keluarnya fluida didefinisikan sebagai *outlet* sehingga pada daerah ini besarnya tekanan perlu didefinisikan. Kondisi batas *wall* termasuk daerah *bottom*, *top* dan *sidewall* didefinisikan sebagai dinding-dinding pembatas domain pada saatproses simulasi. Kondisi batas pada daerah ini dianggap bahwa kekasaran dari dinding tidak berpengaruh terhadap besarnya kecepatan fluida yang mengalir sehingga laju fluida tidak akan mengalami perlambatan akibat

kekasaran dinding. Berbeda dengan kondisi batas dari *wall*, kondisi batas untuk kapal didefinisikan bahwa kekasaran permukaan badan kapal akan berpengaruh terhadap besarnya laju fluida. Hal ini berarti, laju fluida akan mengalami perlambatan akibat pengaruh kekasaran badan kapal yang kemudian CFD mendefinisikan hal tersebut pada proses perhitungan sebagai gaya yang menghambat laju kapal sehingga diperoleh besarnya hambatan viskos kapal. Pada kasus kebisingan ini perhitungan nilai hambatan hanya dijadikan nilai acuan untuk menentukan hasil kita sudah tidak dipengaruhi jumlah element atau tidak.

Tabel II. 3 Pengaturan *boundary condition*

<i>Propeller hub</i>	<i>No slip wall</i>
<i>Propeller blades</i>	<i>No slip wall</i>
<i>Inlet</i>	<i>Velocity -inlet</i>
<i>Outlet</i>	<i>Pressure-outlet</i>
<i>Outer domain wall</i>	<i>Wall</i>
<i>Rotating domain</i>	<i>Interface</i>

Kemudian masukkan detail pada *Run Calculation*. Semakin kecil nilai *Time Step Size* maka hasil semakin presisi. Penulis menggunakan nilai 0.1 (s). Jumlah time step terus ditambah sampai nilai residual yang di plot stabil.

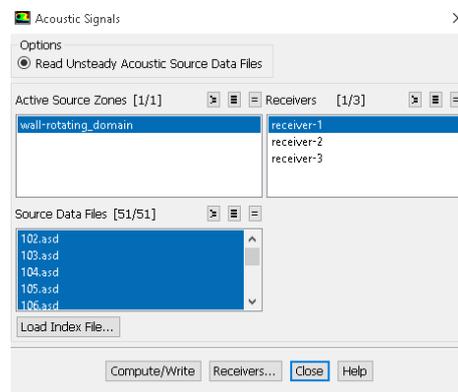


Gambar IV. 8 Konvergen pada transient

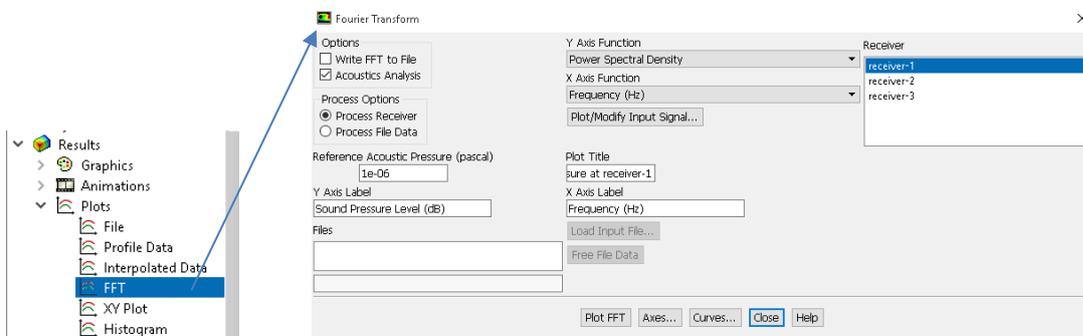
IV.2.3.2 Simulasi Kebisingan

Setelah nilai residual simulasi aliran stabil, aktifkan fungsi akustik dengan mencentang metode Ffowcs-Williams and hawkins di fluent, lalu definisikan sumber kebisingan pada permukaan domain propeller, setelahnya tentukan jumlah *receiver* pada titik-titik yang ingin kita tinjau besar kebisingannya, atur jarak *receiver* terhadap propeller pada 1 m, hal ini dipilih untuk menghindari faktor koreksi yang di perhitungkan (Kowalczyk & Felicjancik, 2016). Ketika akan mulai mengkalkulasi kebisingan, turunkan nilai time steps sekecil mungkin, nilai

maksimal yang kita pilih merupakan nilai yang dibutuhkan untuk propeller berotasi $0,1^\circ$, sedangkan untuk *number of time steps* bisa dimasukkan angka 3600 sehingga akan didapatkan nilai kebisingan untuk satu rotasi putar. Setelah simulasi kebisingan dilakukan, hasil akhir yang didapat merupakan data gelombang dalam format .asd (*Acoustic Source Data*) setiap time steps yang telah ditentukan, ketika mengaktifkan persamaan FWH sinyal di *receiver* sudah dikalkulasi sehingga pengguna tinggal mengklik *compute* keseluruhan file .asd lalu memplotkan hasilnya di Plot – FFT, dengan memilih *receiver* mana yang akan ditampilkan hasil pengukurannya.

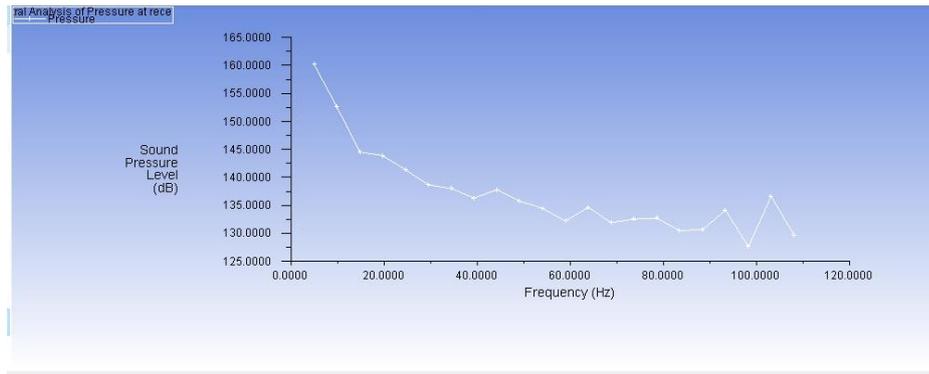


Gambar IV. 9 Membaca file .asd



Gambar IV. 10 Memplot hasil

Setelah dilakukan proses ini akan didapatkan kurva kebisingan dari berbagai variasi konfigurasi yang digunakan. Selain langsung memplot ke kurva SPL vs Frekuensi, file .asd yang diperoleh dapat *diconvert* sehingga dapat digunakan pada simulasi FSI (*Fluid Structure Interaction*).



Gambar IV. 11 Contoh grafik kebisingan

IV.2.4. Verifikasi Hasil

Proses Verifikasi dilakukan untuk memastikan tingkat kesalahan yang error yang terjadi sangat minimal. Untuk Tahap desain memastikan permodelan yang dilakukan mendekati ukuran yang objek sesungguhnya. Selanjutnya pada tahap meshing penulis melakukan penilaian kualitas hasil meshing dengan karakteristik standar hasil meshing yang diterbitkan oleh ANSYS selaku produsen software yang penulis gunakan dalam pengerjaan Tugas akhir ini. Selanjutnya memastikan input yang dimasukkan ke solver sesuai kaidah fisis yang berlaku, biasanya ketika setting an tepat mendekati keadaan nyata, biasanya tidak memberikan peringatan dan hasil iterasi mudah konvergen. Setelah Aliran selesai disimulasikan penulis membandingkan besarnya gaya gesek yang terjadi disepanjang lambung sampai propeller dengan rumus pendekatan yang ada di literature.

Keakurasian hasil analisis CFD ditentukan oleh 3 faktor, yaitu :

1. Konvergensi, yaitu Analisa kebenaran dengan menentukan nilai residual dari proses iterasi. Nilai batas konvergensi yang penulis gunakan ialah 10^{-4} .
2. Grid Independensi, yaitu pengecekan jumlah grid yang paling efisien untuk simulasi
3. Verifikasi, yaitu membandingkan hasil CFD dengan data lain sehingga dapat diterima kebenarannya.

Dalam simulasi ini telah dilakukan pengecekan untuk memastikan bahwa hukum kontinuitas telah terpenuhi, yaitu sebagai contoh pada simulasi kekentalan murni *massflow* pada *inlet* dan *outlet* berturut-turut adalah 21661109.75490441 kg/s dan -21661109.66639921 kg/s sehingga perbedaan hanya 0.0885052 kg/s (tidak sampai 1%).

Kapasitas komputer sangat memengaruhi lama durasi dalam proses *running* yang terjadi pada setiap simulasi. Spesifikasi komputer yang digunakan dalam simulasi adalah sebagai berikut.

System

Processor:	AMD FX-7600P Radeon R7, 12 Compute Cores 4C+8G 2.70 GHz
Installed memory (RAM):	6.00 GB (4.95 GB usable)
System type:	64-bit Operating System, x64-based processor
Pen and Touch:	No Pen or Touch Input is available for this Display

Gambar IV. 12 Spesifikasi komputer

BAB V

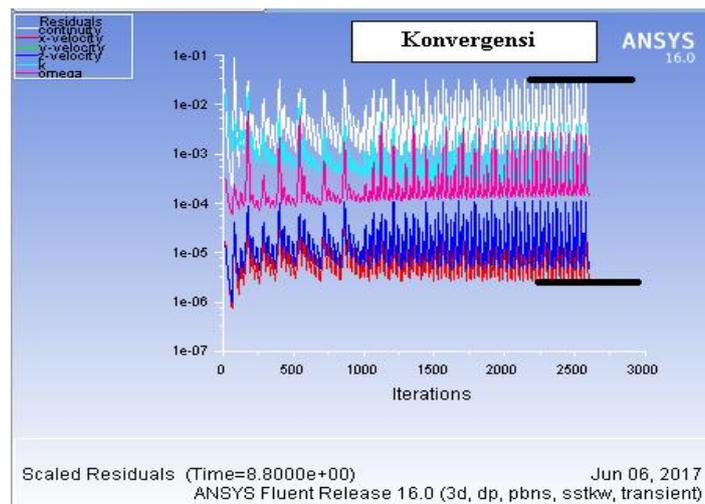
ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

V.1. Simulasi Aliran

Untuk melakukan Analisa kebisingan terlebih dahulu dilakukan simulasi aliran. Simulasi ini diperlukan untuk mengetahui karakteristik aliran disekitar kapal. Pada simulasi Aliran digunakan turbulensi SST K- ω , karena turbulensi ini mampu memprediksi *adverse pressure* yang terjadi di lapisan batas sehingga mampu menganalisa fenomena *wake* yang lebih baik (Kowalczyk & Felicjancik, 2016). Simulasi aliran dilakukan pada semua variasi konfigurasi. Pada analisa aliran ini dilakukan validasi data, ada beberapa parameter penting yang menjadi pertimbangan yaitu : konvergensi dan studi grid .

V.1.1. Konvergensi

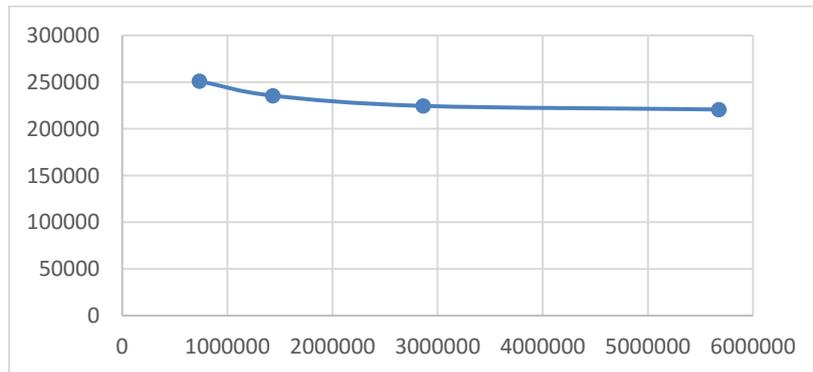
Tahap ini proses iterasi akan dikontrol dengan persamaan kendali. Jika hasil perhitungan belum sesuai dengan tingkat error yang telah ditentukan, maka komputasi akan terus berlanjut. Kriteria *Root Mean Square* (RMS) yang digunakan untuk mengecek konvergensi ditetapkan residual target mencapai 10^{-4} . Nilai ini dinyatakan cukup dalam komputasi numerik melalui solver Fluent. Konvergensi pada simulasi transient selain harus mencapai batas RMS juga harus dipantau grafik residualnya sampai menunjukkan fluktuasi yang hampir sejajar.



Gambar V. 1 Konvergensi yang dicapai

V.1.2. Grid Independence

Jumlah *cell* atau grid yang digunakan dalam simulasi akan memengaruhi keakurasian hasil yang diperoleh, karena jumlah *cell* memengaruhi perubahan bentuk geometri pada saat pemrosesan simulasi. Studi *grid independence* dilakukan dengan mengalikan jumlah elemen awal sebanyak dua kali, sampai didapatkan perbedaan hasil antara simulasi sebelum dan sesudah jumlah elemen dikalikan dua sebesar 2% .

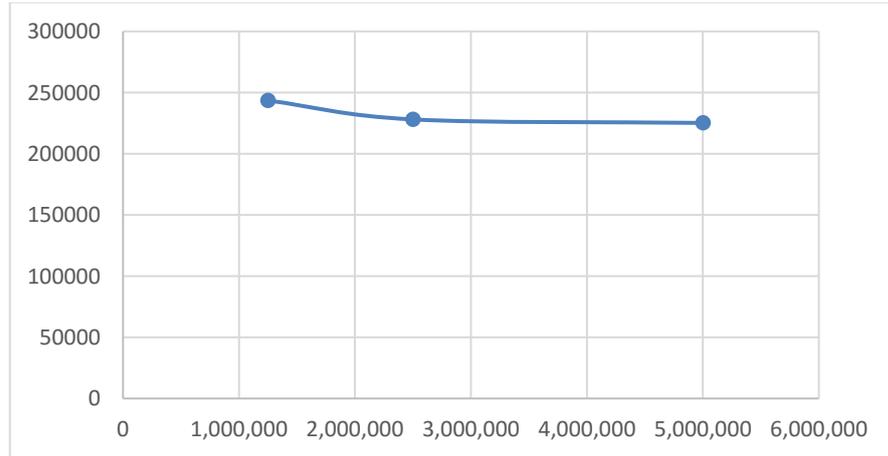


Gambar V. 2 *Grid independence* pada konfigurasi 5 fin

Tabel V. 1 *Grid independence* pada konfigurasi 5 fin

Jumlah Element	Force	Selisih (%)
734275	251078	6.184134014
1,434,013	235551	4.663109051
2,863,658	224567	1.703723165
5,675,575	220741	

Pada konfigurasi 5 fin, jumlah elemen mesh yang dipilih ialah 2,863,658. Angka ini sudah menunjukkan hasil yang cukup optimal dan akurat sebagaimana telah menunjukkan kondisi *grid independence* sebagaimana pada Gambar V.2 dan Tabel V.1. Nilai hambatan untuk jumlah elemen 2,863,658 dan 5,675,575 menunjukkan selisih di bawah 2%. Sehingga dapat dikatakan bahwa jumlah elemen 2,863,658 yang dipilih dalam komputasi CFD telah memenuhi tingkat keakurasian yang cukup baik.

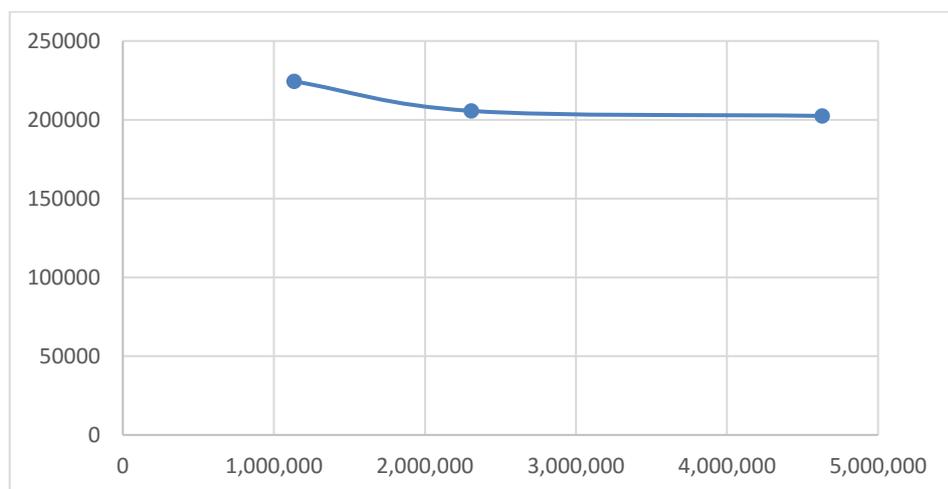


Gambar V. 3 *Grid Independence* pada konfigurasi 4 fin

Tabel V. 2 *Grid Independence* pada konfigurasi 4 fin

Jumlah Element	Force	Selisih (%)
1,250,979	243586	6.340676394
2,499,879	228141	1.25317238
5,000,450	225282	

Pada konfigurasi 4 fin, jumlah elemen *mesh* yang dipilih ialah 2,499,879. Angka ini sudah menunjukkan hasil yang cukup optimal dan akurat sebagaimana telah menunjukkan kondisi *grid independence* sebagaimana pada Gambar V.3 dan Tabel V.2. Nilai hambatan untuk jumlah elemen 2,499,879 dan 5,000,450 menunjukkan selisih di bawah 2%. Sehingga dapat dikatakan bahwa jumlah elemen 2,499,879 yang dipilih dalam komputasi CFD telah memenuhi tingkat keakurasian yang cukup baik.



Gambar V. 4 *Grid Independence* pada konfigurasi 3 fin

Tabel V. 3 *Grid Independence* pada konfigurasi 3 fin

Jumlah Element	Force	Selisih (%)
1,134,841	224333	8.34696634
2,307,890	205608	1.542741528
4,630,764	202436	

Pada konfigurasi 3 fin, jumlah elemen mesh yang dipilih ialah 2,307,890. Angka ini sudah menunjukkan hasil yang cukup optimal dan akurat sebagaimana telah menunjukkan kondisi *grid independence* sebagaimana pada Gambar V.4 dan Tabel V.3. Nilai hambatan untuk jumlah elemen 2,307,890 dan 4,630,764 menunjukkan selisih di bawah 2%. Sehingga dapat dikatakan bahwa jumlah elemen 2,307,890 yang dipilih dalam komputasi CFD telah memenuhi tingkat keakurasian yang cukup baik.

Setelah menentukan jumlah elemen optimum, besar gaya yang didapat pada studi grid dibandingkan dengan perhitungan hambatan manual menggunakan rumus yang diberikan Renilson (2015), berikut ini rumus pendekatannya. Setelah tingkat error dari hasil perbandingan rumus Renilson (2015) dengan hasil simulasi diperoleh dapat diterima, pada simulasi ini sekitar 5%, dapat dilanjutkan ke simulasi kebisingan.

<i>Description</i>	ϵ_{hull}
<i>Teardrop shape</i>	3
<i>Modern shape</i>	4-5
<i>PMB hull form</i>	6

$$C_{f_{form}} = \frac{0.075}{(\log_{10} Re - 2)^2}$$

$$C_p = K_p \cdot C_{f_{form}}$$

$$K_p = \epsilon_{hull} \cdot \left(\frac{L}{D}\right)^{-1.7}$$

$$R_{hull} = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_p$$

$$R_{control\ surface} = \frac{1}{2} \rho V^2 A_{plan} C_p$$

$$R_{sail} = \frac{1}{2} \rho V^2 A_{frontal} C_p$$

Intial condition ,

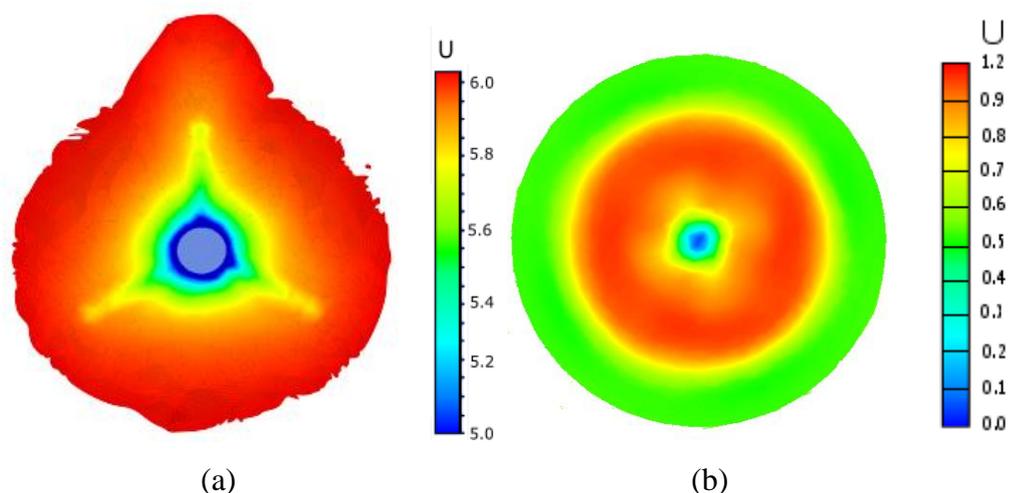
Cd sail = 0.2

Cd control surface = 0.01-0.02

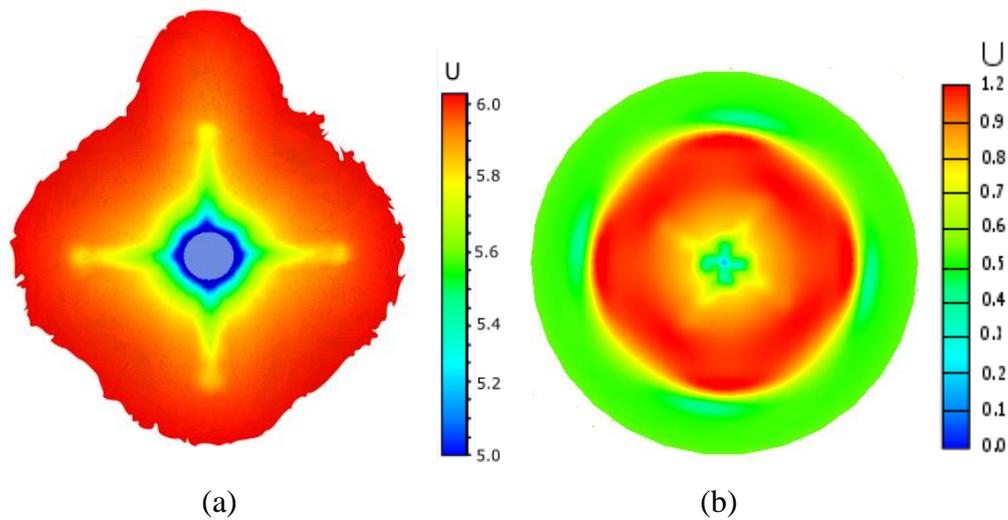
$$R_{total} = R_{hull} + R_{control\ surface} + R_{sail} + Interference$$

V.2. Simulasi Kebisingan

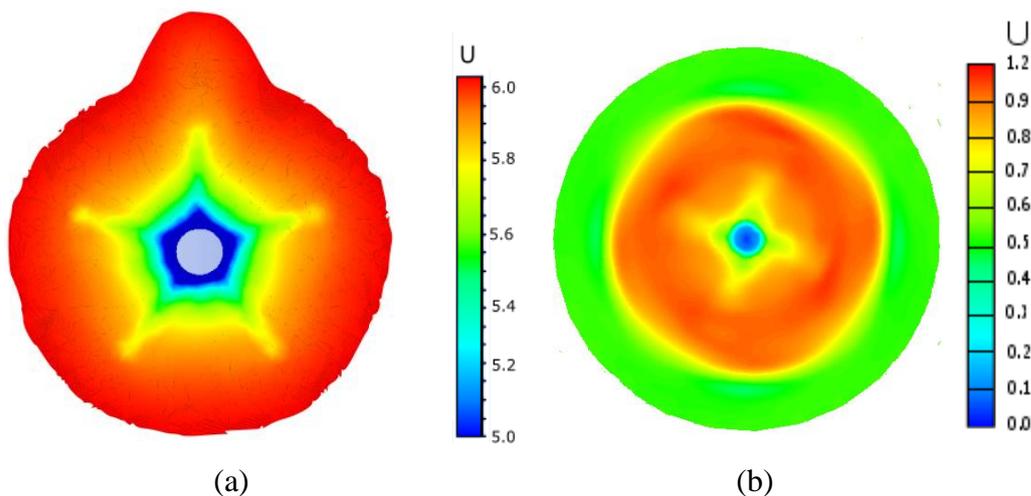
Simulasi kebisingan dilakukan setelah simulasi aliran yang diselesaikan menggunakan persamaan Navier Stokes yang penjelasannya terdapat di Bab II.3 studi literatur tentang persamaan Navier-Stokes, sedangkan simulasi aliran ini di selesaikan dengan persamaan Ffowcs William Hawkins yang penjelasannya sudah tertulis di Bab II.4 studi literatur tentang persamaan Ffowcs William Hawkins. Hasil runningan Ansys setelah menyelesaikan persamaan Ffowcs William Hawking berupa grafik tidak beraturan dengan domain waktu, sedangkan di Ansys Fluent sudah menyediakan fungsi FFT, sehingga pengguna cukup mengklik dan hasil simulasi akan di konversi sehingga berdomain frekuensi, penjelasan lebih lanjut terdapat di Bab II.2 studi literatur tentang teori kebisingan – FFT. Pada simulasi ini nilai kecepatan rambat suara di air laut ditetapkan 1500 m/s dengan massa jenis air laut pada suhu 0° sebesar 1028 kg/m³, dengan peletakan *receiver* sejauh 1 m dari sumber kebisingan dengan *pressure reference* 1 μ Pa. Pada Analisa kebisingan ini titik yang ditinjau (*receiver*) diletakkan 1 m dibelakang propeller, 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 adalah 1000 Hz, hal ini dikarenakan pengukuran hasil simulasi diatas nilai ini akan mengalami ketidaklinieran (Kellet *et al.*, 2013), selain itu dikondisi sebenarnya nilai kebisingan frekuensi tinggi akan mengalami reduksi selama transmisikan (Carlton, 2012). Penjelasan lebih lanjut mengenai *transmission loss* terdapat di bab II studi literatur tentang *transmission loss*.



Gambar V. 5 Kontur *wake* 3 fin (a) sebelum, dan (b) sesudah melewati propeller



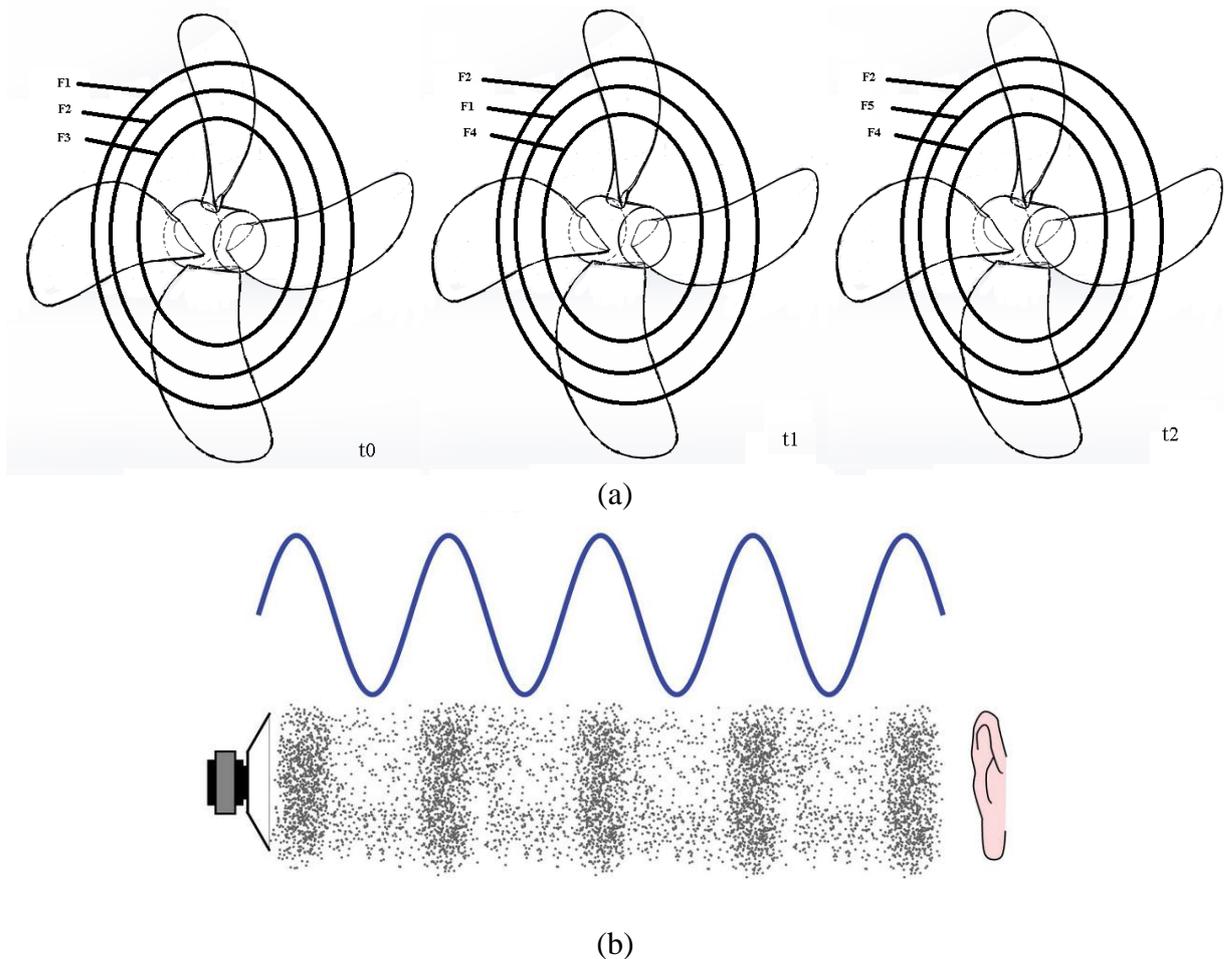
Gambar V. 6 Kontur *wake* 4 fin (a) sebelum, dan (b)sesudah melewati propeller



Gambar V. 7 Kontur *wake* 5 fin (a) sebelum, dan (b)sesudah melewati propeller

Gambar V.5 -V.7 (a) menunjukkan kontur *wake* setelah aliran melewati fin buritan yang diambil pada jarak 3 meter dari *trailing edge* fin, *region wake* yang terbentuk memiliki jumlah yang sama dengan jumlah fin, selain itu terlihat keberadaan sail cukup berpengaruh, karena gangguan (*disturbances*) aliran yang terbentuk menerus hingga ke buritan sebelum memasuki propeller. Sedangkan pada Gambar V.5 -V.7 (b) menunjukkan kontur *wake* yang terjadi setelah aliran melewati propeller tepatnya 1 m dibelakang propeller. Kontur ini menunjukkan variasi kecepatan dibidang perpotongan *single propeller* kapal selam. Kecepatan aliran yang terjadi bervariasi 10 – 90% kecepatan maju kapal. Perbedaan kecepatan ini menimbulkan perbedaan sudut serang dan gaya *lift* yang terjadi di propeller sehingga memengaruhi fluktuasi gaya

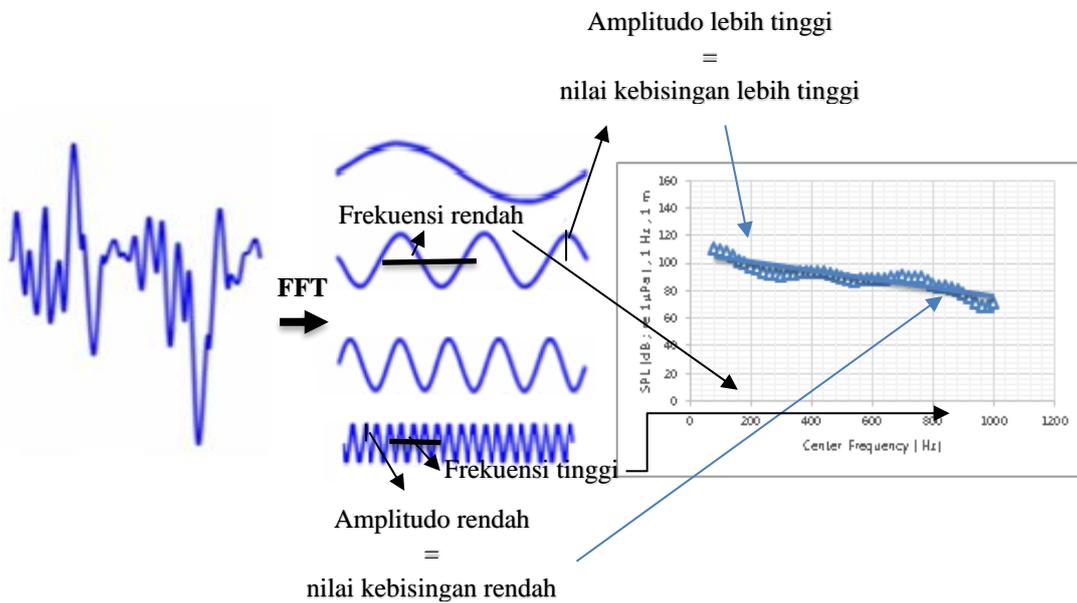
dorong dan torsi yang dihasilkan selama berotasi (Ross, 1976), akrobat propeller menerima fluktuasi beban secara radial saat beroperasi, akan menimbulkan tekanan tiap posisi r/R berbeda. Nilai tekanan diperoleh dari nilai beban per satuan luas permukaan daun. Perbedaan tekanan ini akan di transmisikan ke lingkungan sehingga terbentuk kebisingan, karena pada dasarnya terjadinya bunyi/noise diakibatkan perbedaan tekanan yang di terjadi pada medium rambat.



Gambar V. 8 Mekanisme perambatan bunyi (a) perbedaan gaya per satuan penampang propeller, (b) bunyi merupakan perbedaan tekanan medium

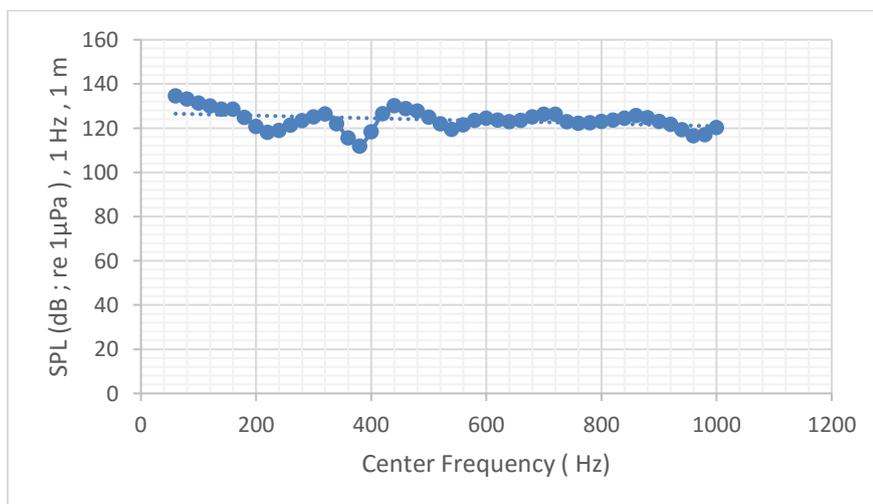
Dalam persamaan gelombang suara, besarnya amplitudo merupakan fungsi tekanan (Carley, 2015), juga dalam pengukuran intensitas kebisingan/*Sound Pressure Level* merupakan fungsi tekanan. Sehingga dapat dikatakan nilai kebisingan sebanding dengan nilai amplitudo gelombang suara. *Receiver* yang diletakkan 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 menunjukkan fluktuasi tekanan. Dengan fungsi *fast fourier transform* yang disediakan solver fluent, kurva domain

waktu diurai menjadi kurva sinus per frekuensi. Lalu disusun ulang menjadi kurva gelombang suara dalam domain frekuensi.

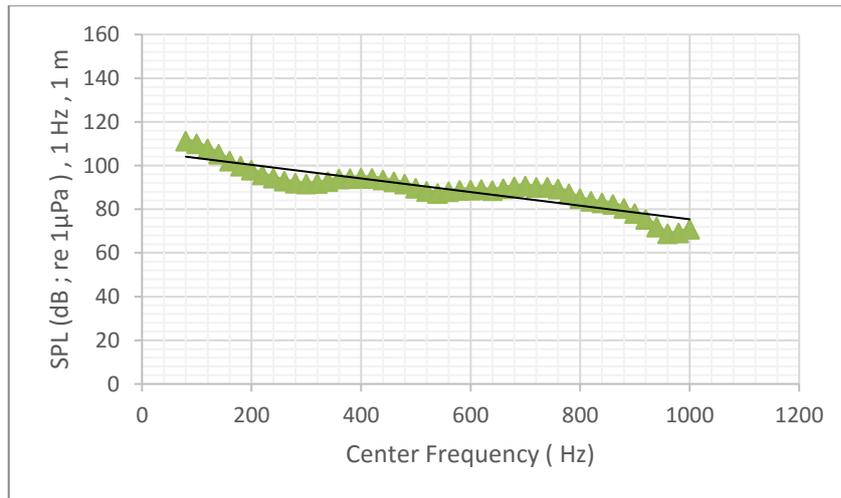


Gambar V. 9 Proses fluktuasi tekanan menjadi kurva SPL

Pada Gambar V.10 memperlihatkan hasil simulasi konfigurasi 3 fin, nilai kebisingan tertinggi yang dicapai menggunakan konfigurasi 3 fin sebesar 137 dB re 1 μ Pa 1m. Secara bertahap mengalami penurunan seiring kenaikan frekuensi namun besarnya tidak signifikan. Kurva mengalami penurunan yang tidak stabil dikarenakan ketidak stabilan beban yang diterima, terjadinya pemisahan aliran lapisan batas di daun, aliran *vortex* di *trailing edge* dan *blade tips* yang mana terjadi secara acak di alam meliputi jangkauan frekuensi yang luas (Yucun & Haixin,2010).

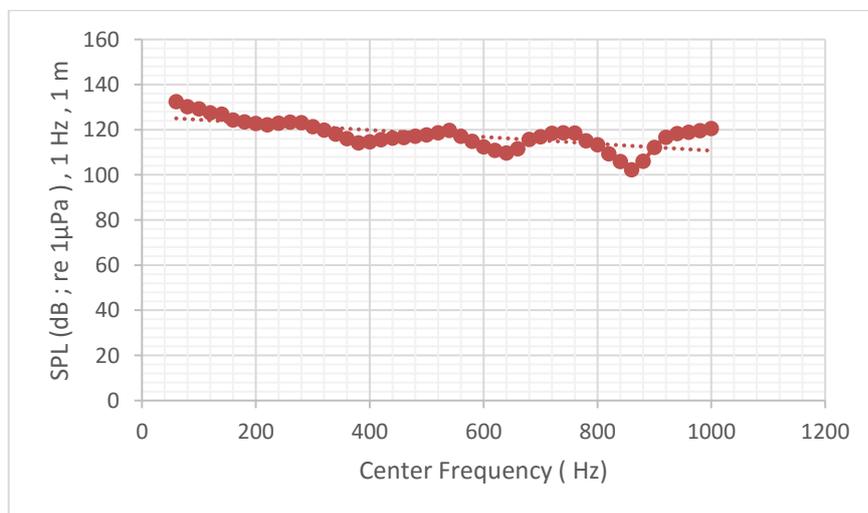


Gambar V. 10 Kurva kebisingan 3 fin



Gambar V. 11 Kurva kebisingan 4 fin

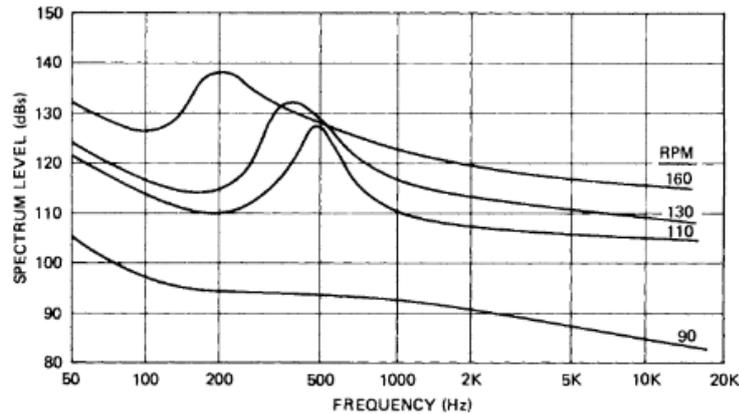
Pada Gambar V.11 memperlihatkan nilai kebisingan tertinggi yang dicapai menggunakan konfigurasi 4 daun sebesar 112 dB re 1 μPa 1m, secara bertahap nilai kebisingan menurun bersamaan dengan kenaikan frekuensi. Ketika jumlah *wake region* yang terbentuk sesuai dengan jumlah daun akan menghasilkan kebisingan yang signifikan (Renilson, 2015). Jika dibandingkan dengan hasil yang didapatkan dari variasi konfigurasi 3 dan konfigurasi 5, konfigurasi 4 memiliki kebisingan yang paling rendah.



Gambar V. 12 Kurva kebisingan 5 fin

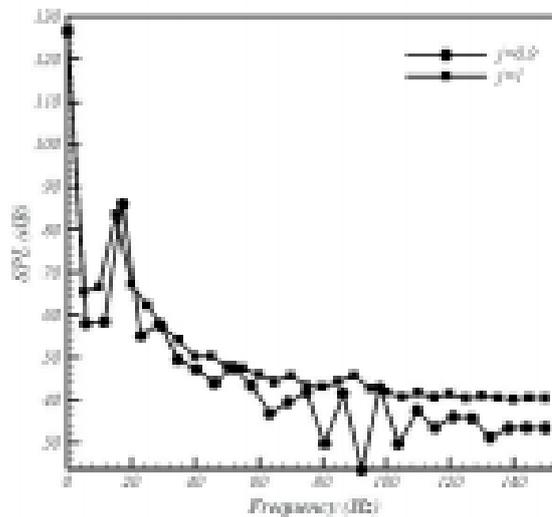
Pada Gambar V.12 memperlihatkan nilai kebisingan tertinggi yang dicapai menggunakan konfigurasi 5 fin sebesar 133 dB re 1 μPa 1m. Secara bertahap nilai kebisingan menurun bersamaan dengan kenaikan frekuensi, namun besarnya tidak signifikan sama seperti kasus konfigurasi 3 fin.

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 II menunjukkan tren yang sama (Ross, 1976).



Gambar V. 13 Hasil pengukuran kebisingan kapal selam (Ross, 1976)

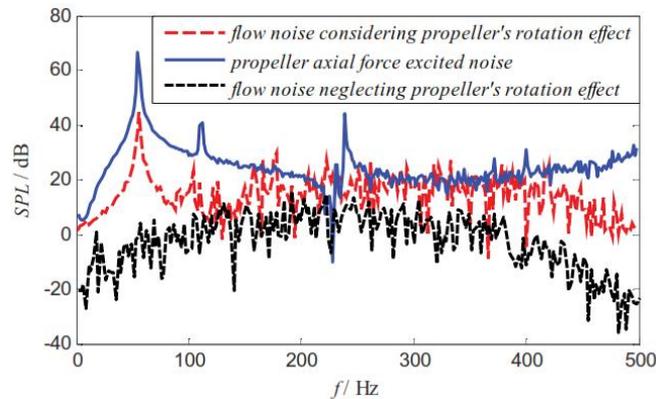
Gambar V.13 merupakan hasil pengukuran kebisingan kapal selam pada perang dunia II menunjukkan kesamaan tren yaitu semakin tinggi frekuensi semakin kecil tingkat kebisingannya , selain itu gambar ini juga menunjukkan bahwa nilai puncak kebisingan mengarah ke frekuensi yang lebih kecil seiring kenaikan kecepatan rotasi propeller.



Gambar V. 14 Hasil numerik kebisingan (Mousavi *et al.*, 2014)

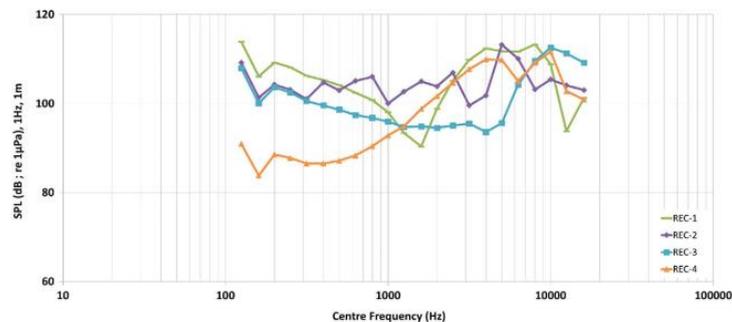
Gambar V.14 menunjukkan hasil penelitian Mousavi *et al.*(2014) yang dilakukan dengan simulasi numerik untuk mendapatkan nilai kebisingan dengan memvariasikan *advance coefficient*, jika dilihat nilai kebisingan pada *advance coefficient* yang lebih rendah (kecepatan

rotasi propeller lebih tinggi) menghasilkan nilai kebisingan yang lebih tinggi, sedangkan nilai kebisingan mengalami penurunan seiring kenaikan frekuensi.



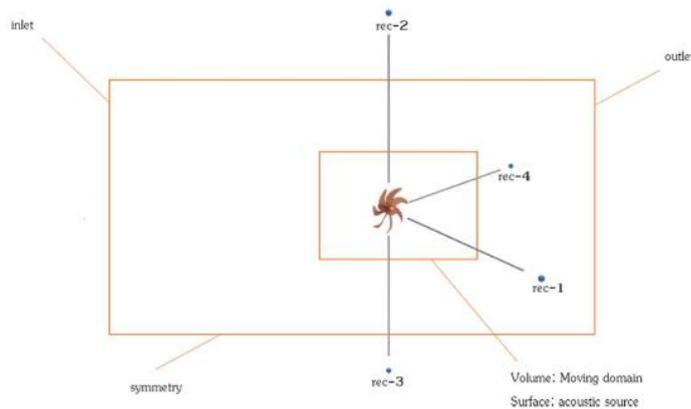
Gambar V. 15 Hasil numerik kebisingan menggunakan *sliding mesh* (Wei *et al.*, 2012)

Gambar V.15 Menunjukkan hasil penelitian Wei *et al.* (2012) dilakukan penelitian menggunakan lambung kapal selam 4 fin dengan *normal skew* propeller 5 daun. Penelitian yang dilakukan Wei *et al.* (2012) tidak hanya meneliti kebisingan aliran, namun lebih menekankan kebisingan akibat interaksi aliran-struktur. Untuk membandingkan dengan hasil simulasi di ambil kurva kebisingan aliran yang dipengaruhi propeller (kurva berwarna merah) sedangkan kurva biru merupakan hasil penelitian yang sudah memperhitungkan interaksi struktur dengan aliran, sedangkan simulasi ini tidak mempertimbangkan pengaruh interaksi struktur.



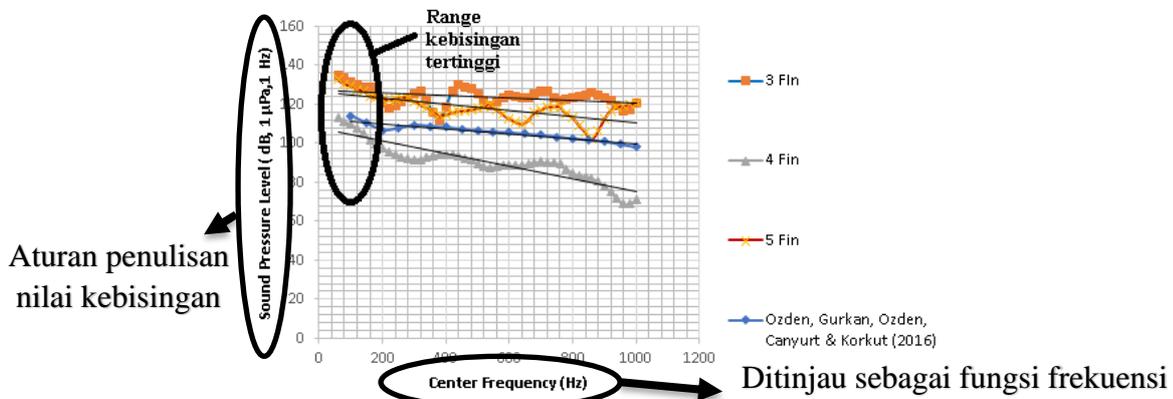
Gambar V. 16 Hasil penelitian yang dilakukan Ozden *et al.* (2016)

Gambar V.16 merupakan hasil pengukuran kebisingan secara menggunakan simulasi numerik. Penelitian Ozden *et al.* (2016) menggunakan kapal selam yang memiliki 4 fin dengan *high skew* propeller 7 daun. Variasi numerik yang dilakukan ialah menghitung kebisingan dengan keberadaan lambung (*self propelled*) dan menggunakan data wake hasil running lambung, sehingga hanya data wake dan propeller saja tanpa keberadaan lambung yang dipakai analisa kebisingan propeller (*imposed wake*).



Gambar V. 17 Lokasi peletakan titik tinjau/receiver (Ozden *et al.*, 2016)

Gambar V.17 menggambarkan peletakan titik yang di tinjau kebisingannya, disebut *receiver*. Ozden *et al.* (2016) meninjau kebisingan di 4 titik. Titik 1 berada didepan propeller, titik 2 di bagian atas propeller, titik 3 di bagian bawah propeller dan titik 4 di samping propeller, Untuk jarak titik yang ditinjau dari sumber kebisingan (propeller) tidak disebutkan dalam hasil penelitiannya. Berikut ini grafik hasil pengukuran kebisingan Ozden *et al.* (2016). Dalam simulasi yang dilakukan, hanya di tinjau di titik 1, yaitu di depan propeller. Sehingga hasil simulasi akan dibandingkan dengan hasil Ozden *et al.* (2016) hanya hasil pada *receiver 1* kurva berwarna hijau, dan hanya sampai frekuensi 1000 Hz sesuai dengan hasil simulasi.



Gambar V. 18 Perbandingan hasil simulasi dengan hasil Ozden *et al.* (2016)

Gambar V.18 menampilkan hasil simulasi dengan hasil penelitian Ozden *et al.* (2016) yang telah disesuaikan skalanya dan hanya di badingkan sampai frekuensi 1000 Hz, sesuai dengan batasan frekuensi hasil simulasi. Kurva kebisingan yang didapatkan berbeda, karena simulasi hanya menggunakan lambung kapal selam dengan variasi konfigurasi 3,4, dan 5 fin dengan propeller 4 daun normal skew, sedangkan penelitian Ozden *et al.* (2016) menggunakan model kapal selam 4 fin dengan propeller 7 daun *high skew*.

Dalam simulasi ini referensi yang digunakan ialah tekanan suara di air yaitu 1 μPa , letak titik tinjauan(*receiver*) yaitu 1 meter dibelakang propeller, dan nilai kebisingan ini ditinjau

sebagai fungsi frekuensi, beberapa referensi meninjau sebagai fungsi kecepatan (Miasnikov, 1994) karena simulasi ini ditinjau sebagai fungsi frekuensi, maka penulisan nilai kebisingan yaitu SPL (dB) ; re 1μPa, 1 Hz , 1 m. Penulisan ini penting karena memberikan penjelasan terkait acuan hasil pengukuran kebisingan Ozden *et al.* (2016). Pada semua grafik menunjukkan nilai kebisingan tertinggi terjadi pada frekuensi rendah (<200 Hz), hal ini dikarenakan ketika propeller bekerja, akan terjadi kenaikan gaya dorong sebanyak jumlah daun selama satu putaran, nilai ini dikenal sebagai *Blade Rate Frekuensi* (BRF), yang secara matematis didapatkan melalui :

$$f = \frac{rpm}{60} \times \text{Jumlah daun}$$

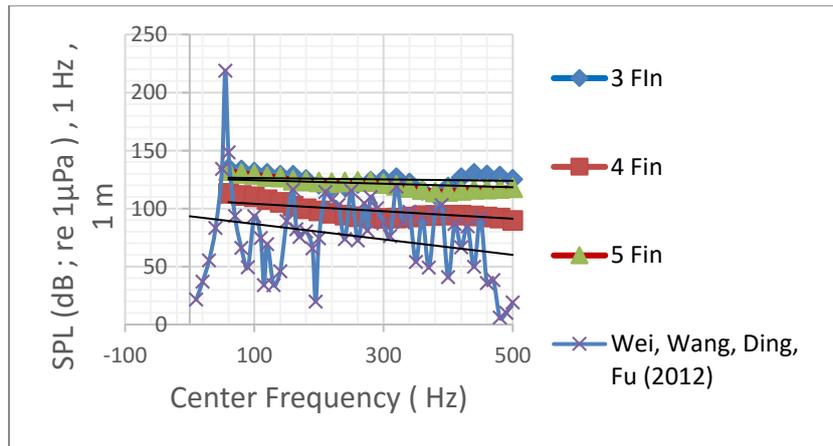
Ketika nilai frekuensi fluktuasi tekanan yang terjadi sama dengan BRF akan terjadi nilai kebisingan tertinggi (Mousavi *et al.*, 2014). Pada penelitian ini penulis menggunakan propeller 4 daun dengan kecepatan rotasi 100 rpm sesuai dengan data propeller asli. Sehingga nilai BRF untuk propeller yang penulis dapatkan sebesar

$$f = \frac{100}{60} \times 4$$

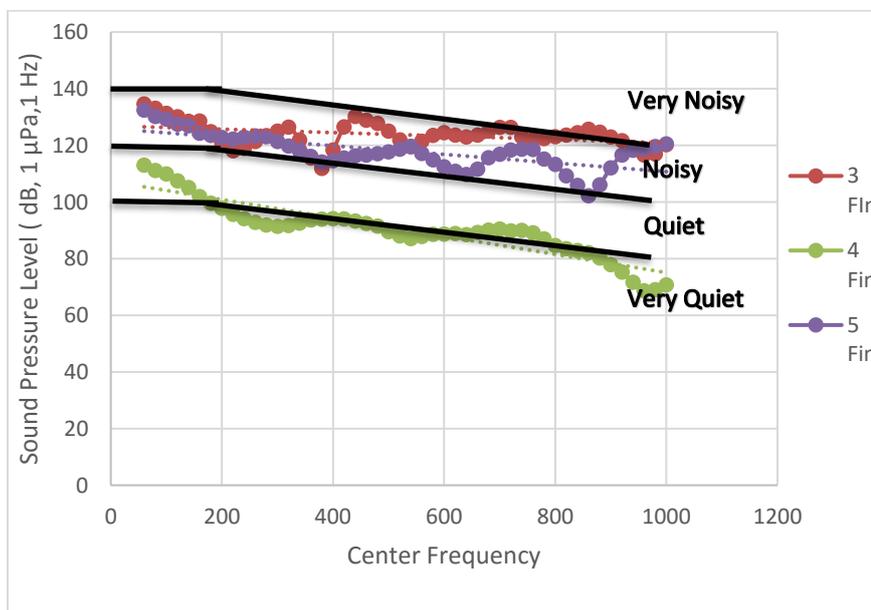
$$f = 7 \text{ Hz}$$

Nilai ini jauh dibawah <200 Hz, Sehingga dapat dipastikan nilai kebisingan tertinggi selalu terjadi di frekuensi rendah. Penjelasan lebih lanjut terdapat di Bab II Studi literatur tentang teori kebisingan – akustik bawah laut. Data lengkap propeller tercantum dilampiran. Sedangkan di kondisi yang sebenarnya nilai *transmission loss* pada gelombang frekuensi tinggi sangat besar sehingga nilai kebisingan yang dihasilkan lebih rendah. Penjelasan lebih detail terdapat di Bab II studi literatur tentang *transmission loss*.

Gambar V.19 merupakan perbandingan hasil simulasi yang dilakukan penulis dengan hasil penelitian Wei *et al.* (2012), yang diperbesar 4 kali dari hasil yang terdapat digambar V.15. Perbedaan hasil kebisingan yang didapatkan berbeda, karena penulis menggunakan lambung kapal selam dengan variasi konfigurasi 3,4, dan 5 fin dengan propeller 4 daun normal skew , sedangkan penelitian penelitian Wei *et al.* (2012) menggunakan model kapal selam 4 fin dengan propeller 5 daun normal *skew*. Selain itu model yang disimulasikan Wei *et al.* (2012) memperhitungkan pengaruh interaksi fluida dengan struktur (*Fluid Structure Interaction*), yang membutuhkan komputasi yang lebih besar. Namun jika dibandingkan hasil penulis dan peneliti memiliki tren penurunan yang sama terhadap kenaikan frekuensi.



Gambar V. 19 Perbandingan hasil simulasi dengan hasil penelitian Wei *et al.* (2012)



Gambar V. 20 Parameter kebisingan menurut Miasnikov (1994)

Pada Gambar V.20 diklasifikasi berdasarkan parameter yang ditetapkan Miasnikov (2014), kebisingan dibawah 100 dB dikategorikan sebagai sangat senyap (*very quite*), diantara 100 – 120 dB sebagai senyap (*quiet*), diantara 120-140 dB sebagai berisik (*noisy*) dan lebih dari 140 dB sebagai sangat berisik (*very noisy*). Pada simulasi ini ditetapkan kecepatan operasi kapal yaitu 6 m/s atau sekitar 12 knot, Jika diklasifikasikan berdasarkan klasifikasi kecepatan Renilson (2015), kecepatan ini termasuk kecepatan normal operasional kapal. Sehingga dapat dikatakan dengan konfigurasi 4 fin-4 daun propeller saat beroperasi normal nilai kebisingan yang dihasilkan sebesar 112 dB re 1 μ Pa 1m dikategorikan rendah/*quiet* . Sedangkan nilai kebisingan yang dihasilkan pada konfigurasi 3 fin-4 daun propeller sebesar 137 dB re 1 μ Pa 1m dan 5 fin-4 daun propeller sebesar 132 dB re 1 μ Pa 1m saat beroperasi normal dikategorikan tinggi/*noisy*.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

VI.1. Kesimpulan

Hipotesis awal Tugas Akhir ini adalah adanya konfigurasi peletakan fin akan memengaruhi nilai kebisingan yang dihasilkan. Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan pada Tugas Akhir ini, dapat disimpulkan bahwa :

1. Kontur *wake* dibelakang fin, menghasilkan jumlah *region wake* yang sesuai jumlah fin.
2. Nilai kebisingan cenderung menurun pada frekuensi tinggi (200 Hz – 1000 Hz)
3. Nilai kebisingan tertinggi terjadi di frekuensi rendah (<200 Hz), hal ini dikarenakan terjadi frekuensi harmonik pertama /resonansi antara frekuensi *noise* dengan frekuensi natural propeller.
4. Nilai kebisingan pada kecepatan 6 m/s yang diperoleh dari simulasi, yaitu untuk konfigurasi 3 fin diperoleh nilai kebisingan tertinggi sebesar 137 dB re 1 μ Pa 1m, sedangkan untuk konfigurasi 4 fin diperoleh 112 dB re 1 μ Pa 1m, dan untuk konfigurasi 5 fin diperoleh 132 dB re 1 μ Pa 1m.

VI.2. Saran

Adapun saran untuk simulasi lebih lanjut yaitu :

1. Menggunakan *dynamic mesh* pada rudder/fin, sehingga akan terjadi variasi *wake* sehingga menghasilkan variasi tingkat kebisingan.
2. Variasi kecepatan aliran agar didapatkan fenomena aliran yang berbeda
3. Variasi hubungan antara jumlah fin dengan jumlah daun propeller

Halaman ini sengaja dikosongkan

“sesungguhnya kesudahan yang baik hanyalah bagi orang-orang yang bertakwa”
(QS. Hud : 49)

DAFTAR PUSTAKA

- Andersen, P., Spangenberg, E., & Kappel, J. J. (2009). Aspect of Propeller Development for a Submarine. *International Symposium on Marine Propulsors*. Trondheim.
- Carley, M. (2015). *Acoustics*. United Kingdom: University of Bath.
- Carlton, J. (2012). *Marine Propeller and propulsion*. United States: Butterworth Heinemann.
- Cojocar, M. G. (2015). Aero-Acoustic Assesment of installed propellers. *Volume 7 ,issue 2*, pp. 53-62.
- Gesret, V. (2000). Propeller Noise. *International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering*. Nice,France.
- Huilan, Y., Zhang, H., Liu, H., & Wencheng, J. (2017). Numerical Study of Flow-Excited Noise of a Submarine With Full appendages considering Fluid Structure Interaction Using Boundary Element Method. *Engineering Analyisist with Bondary Element*, 1-9.
- Ikehata, M., and Chandra, S. (1989). Theoretical Calculation of Propulsive Performances of Stator-Propeller in Uniform Flow by Vortex Lattice Method. *Journal of the Society of Naval Architects of Japan*, 166, 17-25.
- J.Crocker, M. (1997). *Encyclopedia of Acoustic*. New York ,USA: John Wiley and Sons.
- Joubert, P. (2004). *Some Aspect of Submarine Design : Part 1.Hydrodynamics*. Australia: DSTO Platform Sciences Laboratory.
- 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*.
- Lu, N., Bark, G., Svennberg, U., & Bensow, R. (2012). Numerical Simulations of the Cavitating Flow on a Marine Propeller. *International Symposium on Cavitation*. Research Publishing Service.
- Miasnikov, E. (1994). Can Russian Strategic SUBmarines Survive at Sea ? The Fundamental Limits of Passive Acoustics. *Science & Global Security*, 213-251.
- Moonesun, M., Korol, Y., & Brazhko, A. (2015). CFD Analysis on the Equations of Submarine Stern Shape. *Journal of Taaiwan Society of Naval Architects and Marine Engineers*, 21-32.
- 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.
- Oossanen, P. v. (1970). *Calculation of Performance and Cavitation Characteristics of Propeller Including Effect of Non-Uniform Flow and Viscosity*. NSMB Publication 457.
- 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.
- Rawson, K.J. and Tupper, E.C. (2001). *Basic Ship Theory* (5th ed., Vol. 1). Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Renilson, M. (2015). *Submarine Hydrodynamic*. Australia: Springer.
- Ross, D. R. (1976). *Mechanics of Underwater Noise*. New York ,USA: Pergamon Press.

- Smith, A. (1956). Transition, pressure gradient, and stability theory. *International Congress of Applied Mechanics*, (p. 4). Brussel.
- Tani, I. (1969). Boundary Layer Transition. *Annual Review Fluid Mechanics*, 169-196.
- Urick, R. J. (1983). *Principles of Underwater Sound*. United States: McGraw-Hill .
- 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.
- Williams, J. F. (1969). Hydrodynamic Noise. *Annual Review Fluid Mechanics*, 197-222.
- Yu-cun, P., & Huai-xin, Z. (2010). Numerical Hydro-Acoustic Prediction of Marine Propeller Noise. *Jurnal of Shanghai Jiaotong University*, 707-712.

BIODATA PENULIS



Robi Wahyudi, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Serang, 28 Agustus 1996. Penulis merupakan anak kedua dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK Al-hujjaj, kemudian melanjutkan ke SDN Bujanggadung, SMPN 1 Cilegon dan SMAN 1 Cilegon. Setelah lulus SMA, Penulis melanjutkan studi di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2013.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika Kapal. Selama masa studi di ITS, disamping studi tentang perkapalan, penulis juga menyukai mata kuliah bidang studi lain. Selain kuliah Penulis senang mengikuti kegiatan sosial yang memberi manfaat bagi orang banyak, terdaftar dalam Pengajar Tangguh ITS mengajar, Pengajar di Badan Pelayanan Umat JMMI, juga Relawan Rumah Zakat Surabaya. Karena sejatinya hidup hanyalah persiapan untuk menuju kehidupan yang kekal.

P : +6283812329706

M : robby_wahyu@yahoo.co.id

