



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS BENTUK GELOMBANG PADA MODEL KAPAL  
SELAM DENGAN PERUBAHAN KECEPATAN DAN SARAT  
KAPAL**

**SKRIPSI**

**AJI SOKARONI  
0806338166**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN  
DEPOK  
JULI 2012**





## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat, hidayah serta inayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tepat waktu. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Perkapalan pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Sc, M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
2. Ir. M. A. Talahatu, M.T, Dr. Ir. Sunaryo, M.Sc., Ir. Hadi Tresno Wibowo, Ir. Mukti Wibowo selaku dosen program studi Teknik Perkapalan yang telah menularkan ilmu dan pengalamannya.
3. Mochamad Soleh (Bapak), Ani Sumarni (Ibu), dan Niko Nikaroso (Kakak) atas dukungan spiritual, moral dan materil yang diberikan tanpa hentinya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
4. Gunawan, S.T, M.T dan M.Baqi, S.T, M.T selaku asisten dosen yang telah meluangkan waktu untuk melakukan asistensi.
5. Pak Yasin dan Pak Syarif selaku laboran DTM FTUI yang telah membantu dalam pembuatan alat uji.
6. Gerry Liston Putra, Aulia Winandhi S, Indah Puspitasari, Agus Julianto, Candra Dwi Putro dan Dwi Laksono yang sudah meluangkan waktunya untuk membantu menyelesaikan skripsi saya.
7. Helmi, Iqbal, Hudi dan Ami atas bantuannya dalam pengambilan data.
8. Teman – teman jurusan Teknik Mesin dan Teknik Perkapalan, khususnya angkatan 2008 yang telah bersama – sama saling membantu dalam menyelesaikan skripsi
9. Para sahabat dan semua pihak yang telah membantu dalam bentuk doa yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.





## ABSTRAK

Nama : Aji Sokaroni  
Program Studi : Teknik Perkapalan  
Judul : Analisis Bentuk Gelombang pada Model Kapal  
Selam dengan Perubahan Kecepatan dan Sarat  
Kapal

Kapal selam adalah kapal yang bergerak di bawah permukaan air, umumnya digunakan untuk tujuan dan kepentingan militer. Sebagian besar Angkatan Laut memiliki dan mengoperasikan kapal selam sekalipun jumlah dan populasinya masing-masing negara berbeda. Selain digunakan untuk kepentingan militer, kapal selam juga digunakan untuk ilmu pengetahuan dan bertugas di kedalaman yang tidak sesuai untuk penyelam manusia. Pada tahun 1900 Lord Kelvin melakukan penelitian mengenai terjadinya gelombang. Ia mengamati sebuah titik tekanan tunggal yang bergerak sepanjang lurus aliran air. Gerakan titik tersebut menimbulkan sejumlah gelombang yang bergabung membentuk pola yang khas. Pola ini terdiri dari system (sejumlah) gelombang melintang (transverse waves) dan system gelombang divergen yang menyebar titik tersebut menunjukkan pola gelombang. Kapal selam diatas permukaan menimbulkan bentuk pola gelombang yang terdiri dari gelombang melintang (transverse waves) dan system gelombang divergen. Sudut yang dihasilkan berhubungan dengan kecepatan dan hambatan. Semakin besar kecepatan semakin besar pula sudut yang dihasilkan. Dan untuk membuktikannya secara sederhana dapat dilihat dari perhitungan panjang gelombang. Sudut gelombang yang kecil terjadi pada nilai Coefficient Block ( $C_b$ ) yang kecil pula dan selebihnya tergantung bentuk lambung kapal itu sendiri.

Kata Kunci : Kapal Selam, Kelvin Wave Pattern, Wake Factor, Hambatan dan Propulsi

## ABSTRACK

Name : Aji Sokaroni  
Program Studi : Teknik Perkapalan  
Title : The wave form analysis in Submarine Model with Speed Changes and Draft

The submarine is a ship that moves beneath the surface of the water, generally used for military purposes and interests. Most of the Navy has operated submarines and even the number and population of each country is different. Besides being used for military purposes, the submarine is also used for science and served in the depth that is not suitable for human divers. In 1900 Lord Kelvin did research on the waves. He observed a single pressure point moves along a straight stream of water. Movement point raises a number of waves that combine to form a distinctive pattern. This pattern consists of the system a transverse waves and the divergent wave system which is the point spread shows the wave pattern. Submarine on the surface give rise to form a wave pattern consisting of transverse waves (transverse waves) and the divergent wave system. The resulting angle associated with the speed and resistance. The greater the speed the greater the resulting corner. And fatherly simply prove it can be seen from the calculation of the length of geombangnya. Small corner of the waves occur on the Block Coefficient ( $C_b$ ) is small anyway and the rest depending on hull shape itself.

Keywords: : Submarine, Kelvin Wave Pattern, Wake Factor, Resistance dan Propulsion



## DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACK .....	viii
DAFTAR ISI .....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR TABEL .....	xv
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	01
1.2 Perumusan Masalah .....	02
1.3 Tujuan Penelitian .....	02
1.4 Batasan Penelitian .....	03
1.5 Metode Penelitian .....	03
1.6 Sistematika Penulisan .....	05
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Kapal selam .....	06
2.1.1 Lambung Kapa Selam .....	06
2.1.2 Berdasarkan Jenis Penggeraknya .....	08
2.2 Komponen Hambatan Kapal .....	09

2.2.1 Hambatan Gesek	.....11
2.2.2 Hambatan Sisa	.....14
2.2.3 Hambatan Viskos	.....14
2.2.4 Hambatan Gelombang	.....15
2.2.5 Sibakan Gelombang	.....15
2.3 Bilangan Reynold	.....17
2.4 Bilangan Froude	.....16
2.5 Metode Perhitungan Hambatan Kapal	.....16
2.5 Wave Pattern	.....17
<b>BAB 3 RANCANGAN ALAT UJI DAN PROSEDUR PENGUJIAN</b>	
3.1 Rancangan Alat Uji	.....19
3.2 Pembuatan Model	.....20
3.3 Peralatan Pendukung	.....24
3.4 Kondisi Dalam Pengujian	.....28
3.5 Prosedur Pengambilan Data	.....28
3.5 Tahapan Pengujian	.....29
<b>BAB 4 PENGOLAHAN DAN ANALISA DATA</b>	
4.1 Hasil Model	.....31
4.1.1 Kapal 1	.....31
4.1.2 Kapal 2	.....45
4.1.3 Kapal 3	.....58
4.2 Analisa Hasil Eksperimen	.....71

BAB 5 KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan .....79

5.2 Saran .....79

DAFTAR PUSTAKA .....80



## DAFTAR GAMBAR

	halaman
<b>Gambar 2.1</b> Nomenklatur <i>Submarine</i> .....	06
<b>Gambar 2.2</b> <i>Submarine Single Hull &amp; Double Hull</i> .....	07
<b>Gambar 2.3</b> <i>Nuclear Submarine</i> .....	08
<b>Gambar 2.4</b> Diagram Komponen Hambatan Kapal, Molland 2008 .....	10
<b>Gambar 2.5</b> Komponen Hambatan Kapal .....	16
<b>Gambar 2.6</b> Wave Patten .....	17
<b>Gambar 3.1</b> Instalasi alat uji .....	19
<b>Gambar 3.2</b> Kapal Selam 1 .....	20
<b>Gambar 3.3</b> Model Kapal Selam 1 .....	21
<b>Gambar 3.4</b> Kapal Selam 2 .....	22
<b>Gambar 3.5</b> Model Kapal Selam 2 .....	22
<b>Gambar 3.6</b> Kapal Selam 3 .....	23
<b>Gambar 3.7</b> Model Kapal Selam 3 .....	23
<b>Gambar 3.8</b> Kolam Uji .....	24
<b>Gambar 3.9</b> Alat Penarik Kapal Model .....	25
<b>Gambar 3.10</b> Ac Voltage Regulator .....	26
<b>Gambar 3.11</b> Load Cell Tranduscer .....	27
<b>Gambar 3.12</b> Kereta Penarik Kapal .....	27
<b>Gambar 3.13</b> High Speed Camera .....	28
<b>Gambar 4.1</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.31 m/s sebesar $41^{\circ}$ .....	32
<b>Gambar 4.2</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.35 m/s sebesar $35^{\circ}$ .....	33
<b>Gambar 4.3</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.45 m/s sebesar $31^{\circ}$ .....	33
<b>Gambar 4.4</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.31 m/s sebesar $30^{\circ}$ .....	34

<b>Gambar 4.5</b> Hubungan $F_n$ VS $\theta$ pada draft 0.7 cm .....	35
<b>Gambar 4.6</b> Hubungan $\theta$ dan $R_t$ pada draft 0.7 cm.....	35
<b>Gambar 4.7</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.30 m/s sebesar $42^0$ .....	37
<b>Gambar 4.8</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.35 m/s sebesar $40^0$ .....	37
<b>Gambar 4.9</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.41 m/s sebesar $36^0$ .....	38
<b>Gambar 4.10</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.44 m/s sebesar $34^0$ .....	38
<b>Gambar 4.11</b> Hubungan $F_n$ VS $\theta$ pada Draft 1 cm .....	39
<b>Gambar 4.12</b> Hubungan $\theta$ dan $R_t$ pada Draft 1 cm .....	40
<b>Gambar 4.13</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.30 m/s sebesar $46^0$ .....	41
<b>Gambar 4.14</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.35 m/s sebesar $44^0$ .....	41
<b>Gambar 4.15</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.38 m/s sebesar $40^0$ .....	42
<b>Gambar 4.16</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.43 m/s sebesar $38^0$ .....	42
<b>Gambar 4.17</b> Hubungan $F_n$ VS $\theta$ pada Draft 1.4 .....	43
<b>Gambar 4.18</b> Hubungan $\theta$ dan $R_t$ pada Draft 1.4 .....	43
<b>Gambar 4.19</b> Hubungan $F_n$ VS $\theta$ .....	44
<b>Gambar 4.20</b> Hubungan $\theta$ datangnya air pada haluan kapal dan $R_t$ .....	44
<b>Gambar 4.21</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.31 m/s sebesar $48^0$ .....	46
<b>Gambar 4.22</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.34 m/s sebesar $44^0$ .....	46
<b>Gambar 4.23</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.4 m/s sebesar $38^0$ .....	47

<b>Gambar 4.24</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.44 m/s sebesar 37 <sup>0</sup> .....	47
<b>Gambar 4.25</b> Hubungan Fn VS $\theta$ pada Draft 0.75 cm .....	48
<b>Gambar 4.26</b> Hubungan $\theta$ dan Rt pada Draft 0.75 cm .....	49
<b>Gambar 4.27</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.30 m/s sebesar 52 <sup>0</sup> .....	50
<b>Gambar 4.28</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.33 m/s sebesar 47 <sup>0</sup> .....	50
<b>Gambar 4.29</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.4m/s sebesar 43 <sup>0</sup> .....	51
<b>Gambar 4.30</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.44m/s sebesar 38 <sup>0</sup> .....	51
<b>Gambar 4.31</b> Hubungan Fn VS $\theta$ pada Draft 1.11 cm .....	52
<b>Gambar 4.32</b> Hubungan $\theta$ dan Rt pada Draft 1.11 cm .....	52
<b>Gambar 4.33</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.3 m/s sebesar 55 <sup>0</sup> .....	53
<b>Gambar 4.34</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.32 m/s sebesar 49 <sup>0</sup> .....	54
<b>Gambar 4.35</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.36 m/s sebesar 45 <sup>0</sup> .....	54
<b>Gambar 4.36</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.43 m/s sebesar 44 <sup>0</sup> .....	55
<b>Gambar 4.37</b> Hubungan Fn VS $\theta$ pada Draft 1.6cm .....	56
<b>Gambar 4.38</b> Hubungan $\theta$ dan Rt pada Draft1.6 cm .....	56
<b>Gambar 4.39</b> Hubungan Fn VS $\theta$ .....	57
<b>Gambar 4.40</b> Hubungan $\theta$ kapal dan Rt .....	57
<b>Gambar 4.41</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.31 m/s sebesar 48 <sup>0</sup> .....	59
<b>Gambar 4.42</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.33 m/s sebesar 46 <sup>0</sup> .....	59
<b>Gambar 4.43</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.38 m/s sebesar 41 <sup>0</sup> .....	60

<b>Gambar 4.44</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.396 m/s sebesar $39^0$	.....	60
<b>Gambar 4.45</b> Hubungan Fn VS $\theta$ pada Draft 0.6 cm	.....	61
<b>Gambar 4.46</b> Hubungan $\theta$ dan Rt Draft 0.16 cm	.....	62
<b>Gambar 4.47</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.29 m/s sebesar $50^0$	.....	63
<b>Gambar 4.48</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.32 m/s sebesar $48^0$	.....	63
<b>Gambar 4.49</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.36 m/s sebesar $43^0$	.....	64
<b>Gambar 4.50</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.39 m/s sebesar $41^0$	.....	64
<b>Gambar 4.51</b> Hubungan Fn VS $\theta$ pada Draft 0.9 cm	.....	65
<b>Gambar 4.52</b> Hubungan $\theta$ dan Rt pada Draft 0.9 cm	.....	66
<b>Gambar 4.53</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.29 m/s sebesar $56^0$	.....	67
<b>Gambar 4.54</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.31 m/s sebesar $51^0$	.....	67
<b>Gambar 4.55</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.33 m/s sebesar $48^0$	.....	68
<b>Gambar 4.56</b> Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.38 m/s sebesar $42^0$	.....	68
<b>Gambar 4.57</b> Hubungan Fn dan $\theta$ pada Draft 1.3 cm	.....	69
<b>Gambar 4.58</b> Hubungan $\theta$ kapal dan Rt pada Draft 1.3cm	.....	69
<b>Gambar 4.59</b> Hubungan Fn dan $\theta$	.....	70
<b>Gambar 4.60</b> Hubungan $\theta$ dan Rt	.....	70
<b>Gambar 4.61</b> Hubungan Fn dan $\theta$ ketiga kapal displacement 0.044487 Kg	.....	71
<b>Gambar 4.62</b> Hubungan $\theta$ dan Rt ketiga kapal displacement 0.044487 Kg	.....	72

<b>Gambar 4.63</b> Hubungan $F_n$ dan $\theta$ ketiga kapal displacement 0.06353 Kg	.....72
<b>Gambar 4.64</b> Hubungan $\theta$ dan $R_t$ ketiga kapal displacement 0.06353 Kg	.....73
<b>Gambar 4.65</b> Hubungan $F_n$ dan $\theta$ ketiga kapal displacement 0.088974 Kg	.....73
<b>Gambar 4.66</b> Hubungan $\theta$ dan $R_t$ ketiga kapal displacement 0.088974 Kg	.....74
<b>Gambar 4.67</b> Hubungan $\lambda$ dan sudut $\theta$ pada <i>Displacement</i> 0.044487 Kg	.....75
<b>Gambar 4.68</b> Hubungan $\lambda$ dan sudut $\theta$ pada <i>displacement</i> 0.063553 Kg	.....76
<b>Gambar 4.69</b> Hubungan $\lambda$ dan sudut $\theta$ ketiga kapal pada Displacement 0.08894	.....77



## DAFTAR TABEL

	halaman
<b>Tabel 4.1</b> Data untuk penelitian .....	31
<b>Tabel 4.2</b> Data hasil penelitian pada Draft 0.7 cm .....	32
<b>Tabel 4.3</b> Hasil Perhitungan Fn, Rt (kg), $\theta$ .....	34
<b>Tabel 4.4</b> Data hasil penelitian pada draft 1 cm .....	36
<b>Tabel 4.5</b> Hasil Perhitungan Fn, Rt (kg), $\theta$ .....	38
<b>Tabel 4.6</b> Data hasil penelitian pada draft 1.4 cm .....	40
<b>Tabel 4.7</b> Hasil Perhitungan Fn, Rt (kg), $\theta$ .....	42
<b>Tabel 4.8</b> Data hasil penelitian pada Draft 0.75 cm .....	45
<b>Tabel 4.9</b> Hasil Perhitungan Fn, Rt (kg), $\theta$ .....	48
<b>Tabel 4.10</b> Data hasil penelitian pada draft 1.11 cm .....	49
<b>Tabel 4.11</b> Hasil Perhitungan Fn, Rt (kg), $\theta$ .....	51
<b>Tabel 4.12</b> Data hasil penelitian pada Draft 1.6 cm .....	53
<b>Tabel 4.13</b> Hasil Perhitungan Fn, Rt (kg), $\theta$ .....	55
<b>Tabel 4.14</b> Data hasil penelitian pada draft 0.6 cm .....	58
<b>Tabel 4.15</b> Hasil Perhitungan Fn, Rt (kg), $\theta$ .....	61
<b>Tabel 4.16</b> Data hasil penelitian pada Draft 0.9 cm .....	62
<b>Tabel 4.17</b> Hasil Perhitungan Fn, Rt (kg), $\theta$ .....	65
<b>Tabel 4.18</b> Data hasil penelitian pada Draft 1.3 cm .....	66
<b>Tabel 4.19</b> Hasil Perhitungan Fn, Rt (kg), $\theta$ .....	68
<b>Tabel 4.20</b> Perhitungan panjang gelombang pada displacement 0.044487 Kg .....	74
<b>Tabel 4.21</b> Perhitungan panjang gelombang pada displacement 0.063553 Kg .....	76
<b>Tabel 4.22</b> Perhitungan panjang gelombang pada displacement 0.08994 Kg .....	77

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kapal selam adalah kapal yang bergerak di bawah permukaan air, umumnya digunakan untuk tujuan dan kepentingan militer. Selain digunakan untuk kepentingan militer, kapal selam juga digunakan untuk ilmu pengetahuan laut dan air tawar dan untuk bertugas di kedalaman yang tidak sesuai untuk penyelam manusia. Di Indonesia pengadaan kapal selam sedang hangat-hangatnya dibahas di media massa. Tentu saja, karena untuk menjaga pertahanan laut Negara Indonesia harus menambah jumlah kapal selamnya setelah KRI Cakra dan KRI Nanggala.

Baru-baru ini lima puluh insinyur Indonesia dikirim ke Korea Selatan untuk belajar membuat kapal selam. Lima puluh insinyur ini akan belajar di Daewoo Shipbuilding Marine Engineering (DSME) dimana kapal selam ini dipesan. Tiga kapal selam ini ditargetkan akan selesai pada tahun 2014. Tidak hanya tiga, Indonesia berencana membuat delapan kapal selam secara bertahap hingga tahun 2024. Pembuatan kapal selam ini dikarenakan standar kapal selam yang harus dimiliki oleh Indonesia minimal sebanyak empat belas buah. Pembuatan kapal selam berikutnya ini adalah hasil murni karya anak bangsa dan tidak akan meminta bantuan dari pihak asing.

Terkait dengan hal itu kita sebagai mahasiswa teknik perkapalan harus bisa ikut meneliti atau membantu memaksimalkan kapal selam yang akan kita buat nanti. Contohnya adalah tahanan atau hambatan. Pada kapal selam tahanan yang paling besar adalah tahanan gelombang. Tahanan gelombang (Wavemaking resistance) merupakan komponen tahanan yang disimpulkan dari hasil pengukuran elevasi gelombang yang jauh dari kapal atau model. Ketika kapal berjalan di permukaan air seperti halnya sebuah titik tekanan tunggal yang bergerak sepanjang garis lurus permukaan air. Gerakan titik tersebut menimbulkan sejumlah gelombang yang bergabung membentuk pola yang khas.

Kajian mengenai pola gelombang (Wave Pattern) pada suatu benda diperairan, sangat diperlukan untuk membuat kendaraan di air dan design bangunan lepas pantai, misalnya kapal dan offshore. Kajian percobaan ini untuk mengukur pola gelombang dengan menggunakan uji tarik pada suatu model. Dengan menggunakan uji tarik ini bias diketahui pola gelombang, hambatan model dan *wake factor*.

Pola ini terdiri dari system gelombang melintang (transverse waves) dan system gelombang divergen yang menyebar dari titik tersebut. Seluruh pola tersebut berada diantara garis lurus yang berasal dari titik tersebut dan masing-masing pada sisi yang berbeda akan membentuk sudut dengan garis gerakan. Jarak antara gelombang melintang satu dengan gelombang melintang lainnya tergantung pada kecepatan titik itu sendiri.

Hambatan akibat gelombang adalah komponen paling penting pada kapal. Pada umumnya rasio kerampingan yang besar dibutuhkan untuk mengurangi tahanan akibat gelombang. Lambung kapal harus seramping mungkin untuk mencapai kecepatan tinggi. Namun, kekurangan utama dari kerampingan ini adalah berkurangnya stabilitas transversal.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan paparan di atas maka permasalahan yang dapat diambil yaitu:

- a. Apa pengaruh sudut  $\theta$  (datangnya air) terhadap hambatan kapal dengan variasi sarat air?
- b. Berapa sudut  $\theta$  (datangnya air) yang dihasilkan akibat variasi kecepatan dan sarat air?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah

- a. Mengetahui pengaruh sudut  $\theta$  (datangnya air) terhadap hambatan total dari kapal selam di permukaan
- b. Mengetahui sudut  $\theta$  (datangnya air) aliran yang dihasilkan akibat variasi kecepatan

#### **1.4 Batasan Masalah**

Dalam masalah ini diambil batasan masalah berdasarkan kondisi sebagai berikut :

- a. Percobaan ini dengan tiga model kapal selam dengan lambung yang berbeda
- b. Percobaan dilakukan di kolam dengan keadaan kapal di atas permukaan air atau tidak menyelam
- c. Percobaan kapal di atas permukaan air dengan tiga variasi draft dengan displacement yang sama

#### **1.5 Metode Penelitian**

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis melakukan beberapa metode dalam penulisan, yaitu:

1. Konsultasi dengan dosen pembimbing disertai dengan studi literatur

Konsultasi dengan dosen pembimbing merupakan suatu media untuk merumuskan tema yang akan dibahas dalam skripsi serta alat uji yang harus dibuat untuk mendukung penelitian pada tema skripsi tersebut dan memperoleh informasi mengenai dasar teori yang digunakan dalam pengolahan data yang akan dilakukan serta hasil yang hendak diperoleh dari penelitian tersebut.

Sebagai bahan penunjang dalam hal penulisan, penulisan tugas akhir ini berdasarkan pada literatur-literatur yang mendukung dan mempunyai relevansi serta korelasi dengan permasalahan yang ada. Pengumpulan bahan referensi penunjang yang dapat membantu penulis dapat melalui jurnal, paper, buku-buku, *e-mail*, *e-book*, dan *e-news*.

## 2. Membuat alat uji di laboratorium

Membuat alat uji laboratorium sesuai dengan rancangan awal yang telah dikonsultasikan dengan dosen pembimbing serta mengenai bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian tersebut.

Penelitian ini akan dilakukan dalam dua metode, yaitu metode percobaan dan metode numerik. Pada percobaan data dilihat dari hasil load cell yang kemudian diolah untuk dijadikan suatu data yang valid.

## 3. Pengumpulan data

Data-data yang diperoleh dari penelitian dengan menggunakan alat uji laboratorium selanjutnya dibandingkan dengan dasar teori yang telah dijelaskan oleh dosen pembimbing, data-data dan keterangan didapat dari studi percobaan (data percobaan), studi literatur (dari sumber-sumber yang berhubungan dengan penelitian) serta melakukan diskusi dengan team skripsi dan dosen pembimbing.

## 4. Pengolahan data

Data awal yang diperoleh dari penelitian kemudian dimasukkan ke dalam persamaan-persamaan yang terdapat pada dasar teori sehingga didapatkan data yang dibutuhkan yang kemudian digunakan untuk melakukan analisis dan proses selanjutnya.

## 5. Analisis data

Data-data dari pengolahan berupa hambatan dan sudut datangnya air terhadap garis tengah kapal yang dihasilkan Oleh variasi draft dan kecepatan.

## 1.6 Siatematika Penulisan

Penulisan hasil penelitian ini dibagi dalam beberapa bab yang saling berhubungan. Adapun urutan dalam penulisan laporan ini terlihat pada uraian dibawah ini :

**BAB I** : Bab ini membahas mengenai latar belakang permasalahan, tujuan penelitian, metode penelitian, batasan permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini, metode penulisan dalam hal ini bagaimana penulis mendapatkan informasi mengenai penelitian ini serta sistematika penulisan.

**BAB II** : Bab ini menjelaskan mengenai landasan teori yang berhubungan dan digunakan dalam menyelesaikan masalah yang dibahas.

**BAB III**: Bab ini menjelaskan mengenai rancangan alat uji, peralatan-peralatan pendukung dalam pengujian, kondisi dalam pengujian serta prosedur pengujian dan pengambilan data.

**BAB IV**: Bab ini menjelaskan mengenai pengolahan data, menampilkan data penelitian, grafik yang didapat dari pengujian, hasil dari pengujian serta analisis dari hasil penelitian.

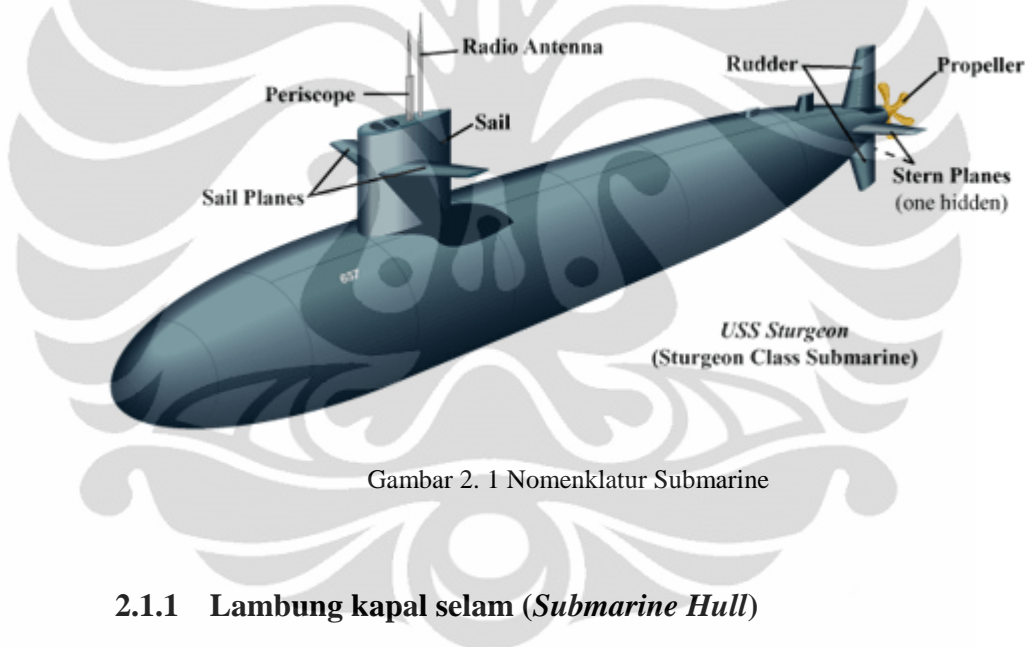
**BAB V**: Bab ini merupakan bab penutup, pada bab ini diberikan kesimpulan serta saran seandainya penelitian ini akan dilanjutkan suatu saat sehingga memperoleh hasil yang lebih akurat.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kapal Selam (*Submarine*)

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



Gambar 2. 1 Nomenklatur Submarine

##### 2.1.1 Lambung kapal selam (*Submarine Hull*)

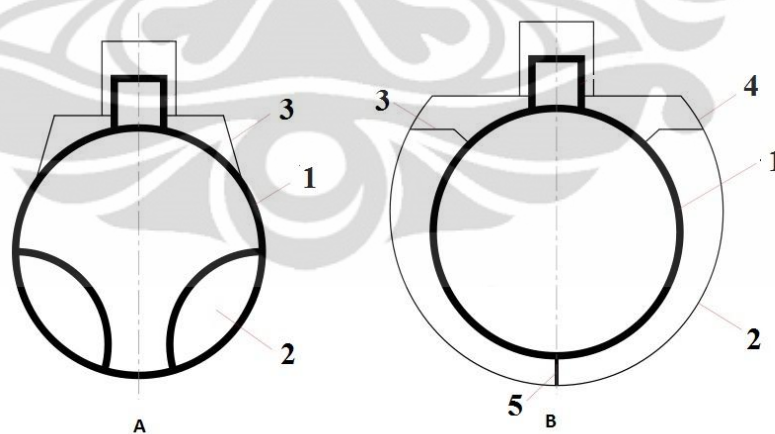
Pada umumnya kapal selam modern yang berukuran kecil dan submersibles, serta yang tertua, memiliki lambung tunggal (*Single Hull*). Namun, untuk kapal selam yang berukuran besar, pada umumnya menggunakan lambung ganda (*Double Hull*). Contohnya, kapal selam Uni Soviet dibangun dengan struktur lambung ganda (*Double Hull*), tetapi kapal selam Amerika kebanyakan dengan lambung tunggal (*Single Hull*). Kedua kapal selam tersebut masih memiliki bagian *Light Hull* di haluan dan buritan, sebagai tangki ballast utama dan memberikan hidrodinamis yang dioptimalkan dalam bentuk yang pada umumnya berbentuk silinder. Berikut jenis-jenis lambung kapal selam:

a. Light Hull

Lambung ganda (Double Hull) kapal selam berbeda dengan lambung ganda kapal biasa. Lambung ini disebut lambung eksternal yang merupakan bagian bentuk kapal selam itu sendiri atau disebut lambung luar (Casing). Lambung ini biasanya terbuat dari baja yang tebalnya hanya 2 sampai 4 milimeter.

b. Pressure Hull

Di dalam lambung luar (Light Hull) ada lambung kuat (Strong Hull) atau disebut juga lambung bertekanan. Lambung ini tahan terhadap tekanan luar dan dalam memiliki tekanan normal atmosfer. Pressure hull umumnya dibangun dari baja yang tebal berkekuatan tinggi dengan struktur yang kompleks dan dipisahkan dengan sekat kedap air (bulkheads) yang dibagi dalam beberapa kompartemen. Lambung bertekanan dan luar tidak dipisahkan, kedua lambung membentuk dengan kekuatan meningkat. Dalam kasus kapal selam tunggal lambung (single hull), lambung ringan (Light Hull) dan lambung bertekanan (pressure Hull) adalah sama kecuali untuk haluan dan buritan.



Gambar 2.2 Submarine Single Hull and Double Hull



Pada gambar diatas adalah contoh dari kapal selam dengan lambung tunggal dan lambung ganda, berikut bagian-bagiannya:

1. Pressure Hull
2. Ballast Tank
3. Superstructure
4. Light Hull
5. Lunas

### 2.1.2 Berdasarkan Jenis Penggeraknya

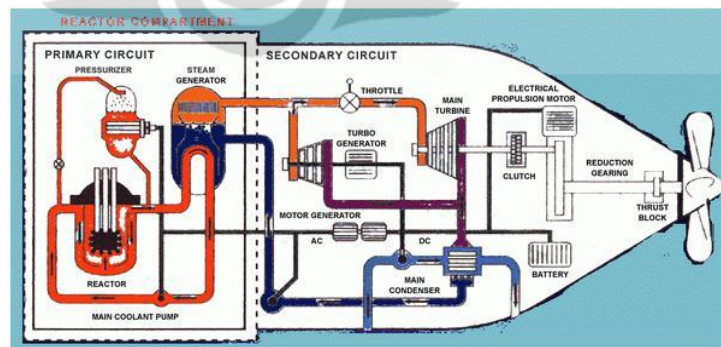
Berdasarkan jenis penggeraknya, system propulsi kapal selam dibagi menjadi dua, yaitu

a. Kapal Selam Diesel Elektrik

Sistem transmisi diesel-elektrik mempunyai sebuah mesin diesel yang dihubungkan dengan generator elektrik, sehingga menghasilkan listrik yang digunakan sebagai sumber tenaga motor elektrik.

b. Kapal Selam Nuklir

Yang revolusioner dari kapal ini adalah penggunaan reaktor nuklir untuk membangkitkan tenaga gerak propeller dan pengisian (recharge) battere-battere yang akan digunakan oleh motor listrik. Jadi posisi mesin diesel diambil alih oleh Reaktor Nuklir Mini. Sedang motor listrik tetap dipertahankan.



Gambar 2.3 Nuclear Submarine

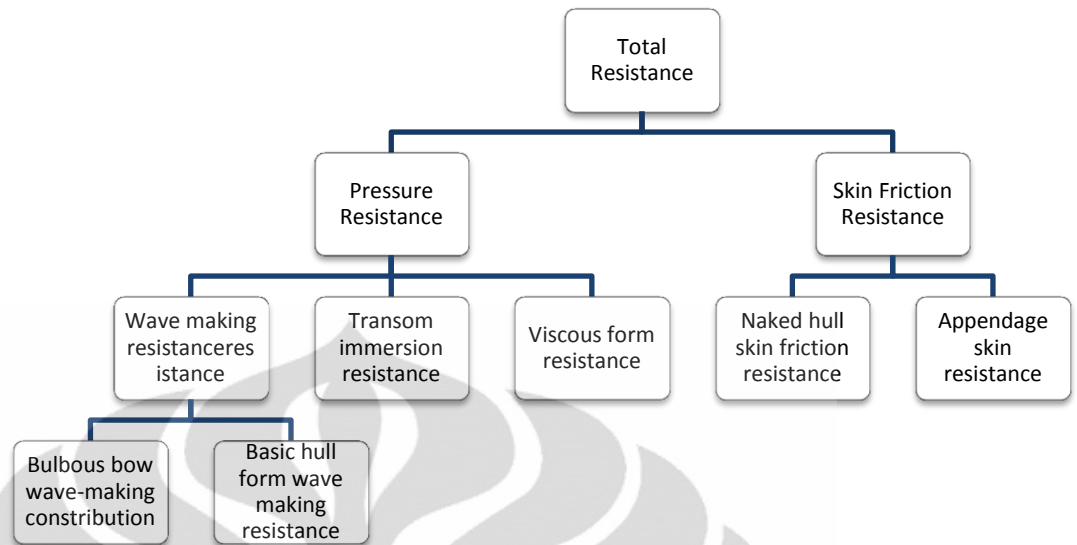
Berikut cara kerja kapal selam nuklir

1. Reaktor nuklir menghasilkan panas yang diperoleh dari fusi atom Uranium.
2. Panas yang dihasilkan didorong dan disalurkan ke ketel uap yang berisi air.
3. Air yang ada dalam ketel uap mendidih sehingga mengeluarkan kekuatan tekanan uap yang sangat besar.
4. Tekanan uap disalurkan ke dua sistem alat yaitu: A. Generator Turbo, yang menghasilkan tenaga untuk kebutuhan reaktor dan B. Turbin Utama, untuk menghasilkan tenaga gerak Kapal dan pengisian battere.
5. Sisa uap air yang mengalir secara terus-menerus dialirkan ke motor pendingin sehingga uap berubah wujud kembali menjadi air.
6. Untuk selanjutnya air ini dialirkan kembali ke ketel uap. Begitu seterusnya

## 2.2 Komponen Hambatan Kapal

Suatu benda yang bergerak di media air dengan kecepatan tertentu, akan mengalami gaya hambat (tahanan atau *resistance*) yang berlawanan dengan arah gerak kapal tersebut. Besarnya hambatan kapal sangat dipengaruhi oleh kecepatan gerak kapal ( $V_s$ ), berat air yang dipindahkan oleh badan kapal yang tercelup dalam air (*displacement*), dan bentuk badan kapal (*hull form*).

Berdasarkan pada proses fisiknya, [Couser 1977] mengemukakan bahwa hambatan pada kapal yang bergerak di permukaan air terdiri dari dua komponen utama yaitu tegangan normal ( *nomal stress* ) dan tegangan geser ( *tangential stress* ). Tegangan normal berkaitan dengan hambatan gelombang ( *wave making* ) dan tegangan viskos. Sedangkan tegangan geser disebabkan oleh adanya viskositas fluida. Kemudian [Molland 2008] menyederhanakan komponen hambatan dalam dua kelompok utama yaitu hambatan viskos ( *viscous resistance* ) dan hambatan gelombang ( *wave resistance* ).



Gambar 2. 4 Diagram Komponen Hambatan Kapal, Molland 2008

Standar internasional dari ITTC meng-klasifikasikan hambatan kapal di air tenang ( *calm water* ), secara praktis dalam dua komponen hambatan utama yaitu hambatan viskos ( *viscous resistance* ) yang terkait dengan bilangan Reynolds dan hambatan gelombang ( *wave making resistance* ) yang bergantung pada Froude, dimana korelasi kedua komponen tersebut diperlihatkan dalam persamaan berikut.

$$R_{T(R_e, F_r)} = R_{V(R_e)} + R_{W(F_r)} = (1 + k)_{(F_r)} R_{F(R_e)} + R_{W(F_r)} \quad (2.1)$$

Hambatan gelombang (  $R_w$  ) mengandung komponen fluida ideal ( *inviscid* ) dan hambatan viskos atau kekentalan (  $R_v$  ) meliputi hambatan akibat tegangan geser ( *Friction drag* ) dan komponen tekanan kekentalan ( *viscous pressure* ).

Total hambatan kapal dapat dinyatakan dengan persamaan 2.2

$$R_T = \frac{1}{2} \rho C_T ( WSA ) V^2 \quad (2.2)$$

Komponen hambatan kapal dari total hambatan dapat diuraikan sebagai berikut :

### 2.2.1 Hambatan Gesek

Hambatan gesek adalah komponen hambatan yang diperoleh dengan cara mengintergralkan tegangan tangensial ke seluruh permukaan basah kapal menurut arah gerakan kapal [Harvald, 1983]. Bagi suatu benda yang bergerak di dalam fluida, adanya viskositas akan menimbulkan gesekan. Penting tidaknya gesekan dalam situasi fisik ini tergantung pada jenis fluida dan konfigurasi fisik atau pola alirannya. Daerah fluida yang dekat dengan benda padat didefinisikan sebagai lapisan batas (*boundary layer*). Di dalam daerah ini gradien melintang kecepatannya sangat besar dibandingkan dengan variasi longitudinalnya, dan tegangan gesernya mempunyai makna yang sangat penting. Koefisien hambatan gesek  $C_F$  biasanya diperoleh melalui percobaan di tangki uji (*towing tank*), sehingga diperlukan suatu cara yang seragam untuk menghitung gesekan permukaan dan untuk mengembangkan data yang diperoleh dari model ke ukuran kapal yang sebenarnya. Besar hambatan gesek pada dasarnya tergantung pada luas permukaan basah lambung kapal, tingkat kekasaran permukaan dan bilangan *Reynolds*, dimana bilangan ini dinyatakan dengan persamaan 2.3.

$$Re = \frac{VL}{\nu} \quad (2.3)$$

Fluida yang berada di antara dua buah pelat sejajar dengan salah satu pelat bergerak sementara jarak ( $h$ ) diantaranya konstan akan mempunyai profil kecepatan yang linier jika sepanjang pelat tersebut tidak ada gradien tekanan dalam arah gerakan kapal tersebut.

Penyelidikan menunjukkan bahwa fluida melekat pada kedua pelat tersebut dan antara fluida dan kedua pelat tersebut tidak terjadi slip. Fluida tersebut didesak sedemikian rupa sehingga berbagai lapisan fluida dapat saling bergeser secara seragam. Kecepatan Lapisan yang berjarak ( $y$ ) dari pelat yang diam dapat dinyatakan sebagai :

$$U = \frac{y}{h} V \quad (2.4)$$

Untuk memepertahankan gerakan, harus ada gaya yang bekerja pada pelat yang bergerak. Percobaan menunjukkan bahwa gaya (F) tersebut berbanding lurus dengan luas pelat (S) dan berbanding terbalik dengan jarak antara kedua pelat (h). Ini dapat ditulis sebagai :

$$U = \mu \frac{SV}{h} \quad (2.5)$$

$\mu$  adalah koefisien viskositas dinamis. Gaya (F) secara numerik sama dengan hambatan yang dihasilkan oleh perpindahan pelat dan dapat dijelaskan dengan menganggap bahwa diseluruh fluida yang bergerak terdapat tanganan tangensial yang melawan perubahan bentuk yang terjadi. Dengan meninjau elemen kecil pada fluida yang sedang dalam keadaan bergeseran dengan lainnya maka dapat dituliskan:

$$\tau = \mu \frac{\partial U}{\partial y} \quad (2.6)$$

$\tau$  adalah tegangan geser dan adalah laju perbuahan kecepatan sebagai fungsi dari jarak y. Hambatan gesek dipengaruhi oleh kecepatan benda (V), luas permukaan basah (S), dan massa jenis fluida ( $\rho$ ). Dengan rumus :

$$R_f = \frac{1}{2} C_f \rho S V^2 \quad (2.7)$$

$C_f$  = hambatan gesek spesifik atau koefisien gesek.

### 2.2.1.1 Koefisien Gesek

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi nilai koefisien gesek yaitu sifat aliran, angka Reynolds, bentuk permukaan, sifat dan keadaan permukaan. Selanjutnya koefisien gesek didefinisikan sebagai :

$$C_f = \frac{R_f}{\frac{1}{2} \rho S V^2} \quad (2.8)$$

William Froude melakukan percobaan dengan menggunakan sejumlah papan untuk diuji tarik di kolam dengan kecepatan berbeda-beda dan dilapisi dengan berbagai bahan. Hasil percobaan tersebut hambatan gesek permukaan budang dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$R_f = f S V^n \quad (2.9)$$

Dimana ;

f : Koefisien gesek papan

S : Luas total permukaan

V : Kecepatan papan

n : Indeks yang merupakan pangkat kenaikan

Selanjutnya rumus tersebut dilengkapi oleh R.E Froude menjadi

$$R_f = f S V^{1,825} \quad (2.10)$$

Setelah beberapa percobaan R.E Froude juga menyatakan bahwa permukaan yang dipernis dan mulus mempunyai kualitas gesekan yang sama. Rumus hambatan gesek tersebut kemudian dinyatakan dalam kilogram (gaya) sebagai:

$$R_f = \frac{\gamma \lambda}{1000} S V^{1,825} \quad (2.11)$$

Dimana ;

$\gamma$  : Berat jenis dalam kg/m

$\lambda$  : Koefisien tahanan gesek

S : Luas permukaan basah

V : Kecepatan dalam m/detik

Le Besnaris menyatakan koefisien menyatakan koefisien gesekan pada suhu 15<sup>0</sup>C dalam rumus sebagai berikut :

$$\lambda = 0,1392 + \frac{0,258}{2,68+L} \quad (2.12)$$

L adalah panjang model atau kapal dalam meter. Jika koefisien gesekan tersebut dipakai untuk suhu selain 15<sup>0</sup>C maka koreksi dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut ini :

$$\lambda_t = \lambda(1 + 0,0043 \Delta t) \quad (2.13)$$

$$\Delta t = 15^\circ C - t, \text{ harga ini negatif jika } t < 15^\circ C \quad (2.14)$$

Hasil penggabungan persamaan (2.8) dengan (2.14) persamaan menghasilkan hubungan sebagai berikut :

$$Cf = \frac{Rf}{\frac{1}{2}\rho S V^2} = \frac{\frac{\gamma \lambda}{1000} S V^{1,825}}{\frac{1}{2}\rho S V^2} \quad (2.15)$$

$$Cf = 2 \times 10^{-3} \lambda g V^{-0,175} \quad (2.16)$$

$g$  adalah percepatan gravitasi; harga ini harus diikuti dalam rumus tersebut sesuai definisi  $\lambda$  dan satuan yang dipakai.

*Towing tank* di seluruh dunia telah memikirkan untuk membuat suatu cara yang seragam untuk menghitung gesekan permukaan dan untuk mengembangkan data yang diperoleh dari model ke ukuran kapal yang sebenarnya. Banyak usulan yang dipelajari oleh The International Towing Tank Conference (ITTC) dan tahun 1957 memberikan persetujuan pada rumus berikut ini :

$$Cf = \frac{0,075}{(\log_{10} Re - 2)^2} \quad (2.17)$$

### 2.2.2 Hambatan Sisa

Bagian terbesar dari hambatan sisa adalah komponen hambatan gelombang [Harvald, 1983]. Unsur lainnya adalah hambatan tekanan dan hambatan gesek tambahan sebagai akibat bentuk benda yang tiga dimensi. Dari kegiatan praktis di laboratorium, hambatan sisa adalah kuantitas yang merupakan hasil pengurangan dari koefisien hambatan total dengan koefisien hambatan gesek.

### 2.2.3 Hambatan Viskos

Hambatan Viskos adalah penjumlahan dari beberapa komponen hambatan yakni hambatan bentuk ( *viscous form resistance* ), hambatan gesek lambung kapal ( *naked hull skin friction* ) dan hambatan tahanan lambung kapal (

*appendage skin friction* ). Hambatan bentuk adalah integral dari gaya normal yang bekerja pada lambung, dimana besar hambatannya tergantung bentuk lambung dibawah permukaan air.

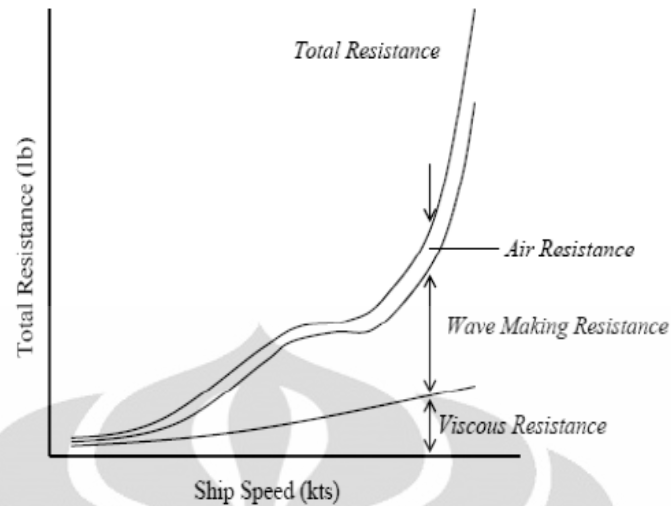
#### **2.2.4 Hambatan Gelombang**

Hambatan gelombang adalah komponen hambatan yang berkaitan dengan penggunaan energi untuk pembentukan gelombang gravitasi atau bekerjanya gaya normal fluida pada seluruh badan kapal. Komponen ini dipisahkan menjadi dua bagian, yaitu hambatan pola gelombang (  $R_{WP}$  ) dan hambatan gelombang pecah (  $R_{WH}$  ) [Hogben et al 1975]. Pada umumnya, yang diartikan sebagai hambatan gelombang adalah dengan mengabaikan hambatan gelombang pecah karena besarnya relatif kecil dan terjadi pada kecepatan tinggi ( *high speed condition* ). Hambatan gelombang terjadi disebabkan oleh tekanan fluida yang bekerja dalam arah normal terhadap lambung kapal.

#### **2.2.5 Sibakan Gelombang**

Geometri kapal dengan kecepatan tertentu berpotensi menghasilkan gelombang samping yang cukup besar. Gelombang ini populer dengan sebutan sibakan gelombang ( *ship wave wash* ), yang sangat berbahaya bagi lingkungan sekitarnya ketika intensitasnya cukup tinggi. Kapal-kapal cepat yang agak gemuk ( *bluffer* ) cenderung menghasilkan sibakan gelombang yang besar dan kapal-kapal yang langsing menyebabkan massa air terdorong ke arah haluan menghasilkan gelombang pecah ( *wave breaking* ).





Gambar 2. 5 Komponen Hambatan Kapal

### 2.3 Bilangan Reynolds

Bilangan reynolds merupakan paramater yang dapat menentukan suatu aliran itu laminar atau turbulen. Bilangan reynolds merupakan bilangan tak berdimensi yang menyatakan perbandingan antara gaya inersia dan gaya viskos di dalam fluida.

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu} \quad (2.18)$$

$$Re = \frac{V L}{\vartheta} \quad (2.19)$$

Dimana :

Re : Bilangan Reynolds

V : Kecepatan Kapal (m/s)

L : Panjang kapal (m)

$\vartheta$  : Viskositas kinematik (m<sup>2</sup>/s)

(Re adalah Reynold's number dengan menggunakan referensi panjang garis air.)

### 2.4 Bilangan Froude

Tahanan menurut Froude merupakan fungsi dari bentuk, kecepatan dan viskositas. Untuk menyatakan besarnya tahanan gesek maka berhubungan dengan viskositas dan bilangan reynoldnya. Sedangkan untuk menyatakan besarnya



gelombang divergen garis puncak tersebut berbelok balik dan akhirnya lenyap didalam system divergen.

Teori pola gelombang ini dikenal dengan nama *kelvin limit angle*. Artinya adalah batasan sudut air yang diberikan kepada kapal agar tidak terjadinya *wake factor*. Untuk perairan dangkal pada kecepatan yang sama sudut  $\Theta$  bias menjadi lebih besar. Jarak antara gelombang Transversal yang satu dan yang lain bergantung pada kecepatan translasi. Besarnya keecilnya sudut yang dihasilkan berpengaruh pada kecepatan dan panjang gelombang, berikut persamaan panjang gelombang

$$V(\text{Knot}) \rightarrow \lambda \approx 0.1694xV^2 \quad (2.21)$$

$$V(m/s) \rightarrow \lambda \approx 0.640xV^2 \quad (2.22)$$

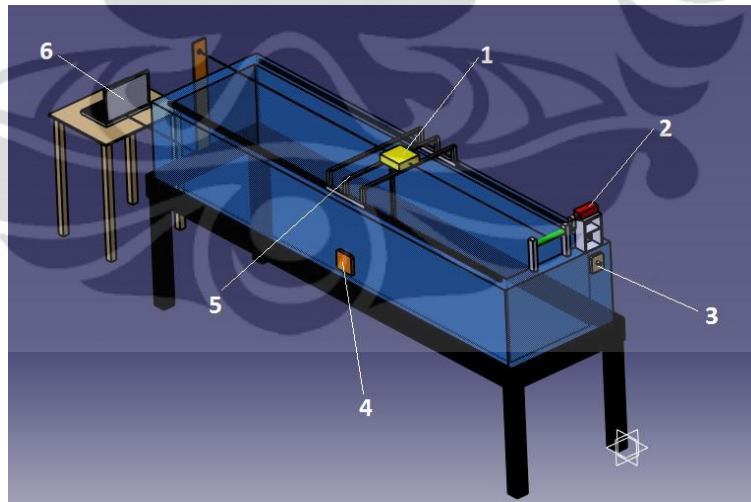
## BAB 3

### RANCANGAN ALAT UJI DAN PROSEDUR PENGUJIAN

#### 3.1 Rancangan Alat Uji

Pada penelitian ini alat uji dirancang sendiri berdasarkan dasar teori dan pengalaman dari dosen pembimbing. Alat uji ini dirancang sebagai alat uji dengan skala laboratorium (kolam uji), yaitu penggunaan alat yang hanya ditunjukkan untuk penelitian dan pengambilan data dari model kapal selam yang akan dilakukan penelitian.

Rancangan alat uji seperti terlihat pada gambar 3.1 dimana kapal model kapal selam akan ditarik sejauh 1,5 m. Model uji dilengkapi dengan alat ukur 'load cell transducer' untuk mengukur besar (gaya) hambatan. Posisi alat tersebut terletak ditengah kereta yang membawa kapal model dan model dapat bergerak bebas secara vertikal. Pengujian dilakukan dengan merekam hasil tegangan tali pada load cell melalui data akuisisi yang terbaca pada komputer.



Gambar 3. 1 Instalasi alat uji





**Gambar 3. 3 Model Le Plengour**

Dimensi Kapal Model :

Length : 25 cm  
 Beam : 3.5 cm  
 Draft : 1.4 cm

### **3.2.2 Kapal Selam XVIIA type WK205**

Kapal selam asal Jerman dengan Tipe 205 adalah kapal selam kelas diesel-listrik sebagai alat penggerakannya. Kapal selam ini dikenal dengan nama U-Boat kapal pemburu-pembunuh kapal selam (*German hunter-killer U-boat submarines*). Kapal ini adalah kapal dengan lambung tunggal (single hull). Kapal ini dioperasikan di Laut Baltik. Berikut dimensi kapal selam

Displacement : 450 long tons (457 t) surfaced  
 500 long tons (508 t) submerged

Length : 43.9 m (144 ft)

Beam : 4.6 m (15 ft 1 in)

Draft : 4.3 m (14 ft 1 in)

Propulsion : 2 × 600 hp (450 kW) Mercedes-Benz  
 4-stroke V12 diesel engines each  
 coupled to a BBC generator  
 1 × 1,000 kW (1,300 hp) SSW electric motor







Dimensi Kapal Model dengan Skala 1:700 :

Length : 25 cm  
Beam : 3.28 cm  
Draft : 1.71 cm

### 3.3 Peralatan Pendukung

Pada penelitian ini terdapat beberapa komponen yang digunakan antara lain :

#### 3.2.1 Kolam Uji

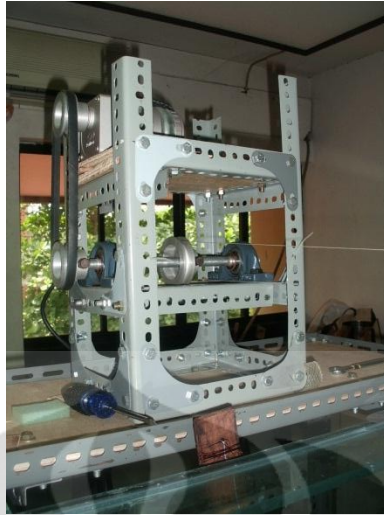
Kolam ini digunakan sebagai tempat bergerak kapal di dalam dan dipermukaan air. Selain untuk uji hambatan kolam ini dapat digunakan untuk inclining test atau simulasi stabilitas kapal. Kolam ini mempunyai panjang 3 meter, lebar 0.8 meter dan tinggi 0.55 meter



Gambar 3.8 Kolam Uji

#### 3.2.2 Alat Penarik Kapal Model

Alat penarik berfungsi untuk menarik kapal model dengan kecepatan yang dapat diatur dan diasumsikan sebagai penggerak/ gaya dorong (propulsi) kapal model. Alat penarik ini merupakan satu rangkaian komponen yang dirakit menjadi satu kesatuan. Komponen tersebut terdiri dari sebagai berikut:



**Gambar 3.9 Alat Penarik Kapal Model**

- **Rangka**  
Rangka yang digunakan adalah besi siku berlubang yang disambung dengan menggunakan baut dan disusun sedemikian rupa sehingga kokoh untuk menahan berat dari motor listrik dan gulungan tali.
- **Motor Listrik**  
Motor listrik disambungkan dengan gulungan tali yang dihubungkan dengan belt. Fungsi dari motor listrik ini adalah untuk memutar gulungan tali dimana tali tersebut digunakan untuk menarik kapal model.
- **Gulungan Tali**  
Gulungan tali yang menggunakan silinder hollow berbahan Aluminium dengan diameter luar 40 mm dan diameter dalam 10 mm.
- **Tali**  
Tali yang digunakan adalah berbahan serat nylon yang mampu menahan tegangan tali pada saat menarik kapal.
- **Pulley**  
Dua buah pulley digunakan untuk menyambung putaran motor listrik. Pulley dihubungkan pada gulungan tali dan pada poros motor listrik.
- **Saklar (switch ON/OFF)**  
Saklar digunakan untuk menghidupkan dan mematikan motor listrik.

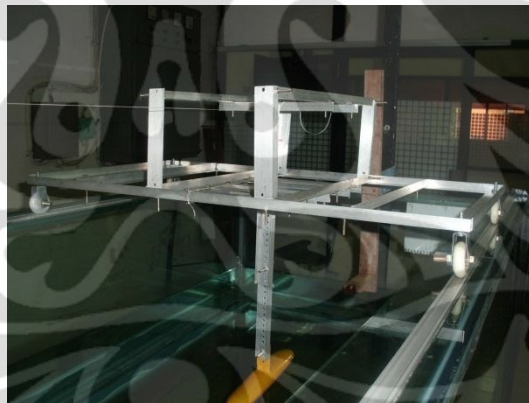




**Gambar 3.11 Load Cell Transducer**

### **3.2.5 Kereta Penarik**

Kereta penarik ini berfungsi untuk memegang model yang kemudian dijalankan oleh motor listrik.



**Gambar 3.12 Kereta Penarik**

### **3.2.6 Beban**

Saat pengujian beban diberikan sebesar 2.7 kg di kereta penarik agar kereta penarik tidak meluncur saat ditarik.

### **3.2.7 Alat Pengukur Waktu**

Saat pengujian diperlukan alat pengukur waktu yang digunakan ketika kapal model yang sedang ditarik berada pada area jarak tempuh kapal yang ditentukan secara konstan yaitu 1.5 m.



1. Model Kapal La Plounger

Kapal ditarik dengan kecepatan....dengan sarat air 0.70, 1.05 dan 1.4 cm

2. Model Kapal Wk 205

Kapal ditarik dengan kecepatan....dengan sarat air 0.8, 1.6 dan 2.4 cm

3. Model Kapal Typhoon

Kapal ditarik dengan kecepatan....dengan sarat air 0.56, 1.12 dan 1.7cm

Bisa juga dikatan kapal ditarik dengan kecepatan yang sama dengan 1/3, 2/3 dan 3/3 sarat air dari masing-masing kapal.

### 3.5 TAHAPAN PENGUJIAN

Tahap pengujian dalam pengambilan data untuk perhitungan hambatan dan menghitung sudut datang air di haluan kapal selam adalah sebagai berikut:

- a. Setiap kapal model dipersiapkan untuk dilakukan uji tarik sesuai dengan tiga variasi draft. Setiap kapal dipegang atau ditempel oleh batang alumunium yang berpegangan dengan kereta penarik.
- b. Setelah instalasi dilakukan, selanjutnya load cell diletakkan diatas kereta penarik yang dihubungkan dengan tali penarik yang berasal dari gulungan tali untuk selanjutnya diputar oleh motor listrik.
- c. Load cell juga dihubungkan dengan interface yang terintegrasi dengan komputer. Ketika pada saat proses penarikan, gaya tarik tersebut akan menghasilkan *output* berupa data yang terdiri dari angka.
- d. Sebelum dilakukan penarikan pada kapal model, kereta penarik beban diberikan sebesar 2.7 kg agar tidak meluncur saat ditarik.
- e. High speed camera diletakkan dibawah kolam untuk memoto sibakan air yang dihasilkan oleh kapal.
- f. Motor listrik dinyalakan sesuai dengan aba-aba dan dilakukan pengaturan voltase menggunakan AC voltage regulator. Dalam percobaan ini, pengaturan voltase dilakukan sebanyak empat kali untuk mendapatkan variasi kecepatan kapal model. Setelah kapal model melewati batas jarak 1.5 meter, pengukur waktu (*stop watch*) dan motor listrik dimatikan.

Sehingga didapatkan variasi waktu untuk setiap kecepatan kapal model dan selanjutnya tampilan data *output* dari loadcell dapat disimpan untuk jenis variasi tersebut.

- g. Untuk melakukan jenis variasi selanjutnya, dapat dilakukan dengan mengulang berbagai langkah di atas.



## BAB 4

### PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA DATA

#### 4.1 Hasil Eksperimen Model

Model uji menggunakan tiga lambung kapal selam dengan perbedaan sarat air dan kecepatan. Pengujian hambatan model kapal selam dilakukan pada kecepatan *Froude* ( $F_n$ ) 0.12 hingga 0.18, dengan perbedaan sarat air, yaitu pada setiap kapal dibatasi dengan tiga *displacment*.

Tabel 4. 1 Data untuk penelitian

Draft	$\Delta$ (Kg)	Kapal 1, $C_b = 0.69$	Kapal 2, $C_b = 0.79$	Kapal 3, $C_b = 0.82$
Draft 1	0.044487	0.007	0.0075	0.0065
Draft 2	0.063553	0.01	0.011	0.009
Draft 3	0.088974	0.014	0.016	0.013

Model uji dilengkapi dengan alat ukur '*load cell transducer*' untuk mengukur besar (gaya) hambatan. Posisi alat tersebut terletak ditengah model kapal dan model dapat bergerak bebas secara vertikal. Ketika kapal berjalan, sampai jarak yang ditentukan, bentuk gelombang yang dihasilkan di foto dengan *high speed camera* yang terletak di bawah kolam uji. Hasil foto pada *high speed camera* dipindah ke autocad untuk melihat sudut yang dihasilkan.

##### 4.1.1 Kapal 1 (Le Plengoeur)

###### 4.1.1.1 Kondisi Draft 1

Pada draft 1 dengan panjang (L) kapal model sebesar 25 cm, lebar (B) sebesar 3 cm dan draft (t) sebesar 0.7 cm maka dapat diperoleh hambatan dengan pengujian variasi empat kecepatan











#### 4.1.1.2 Kondisi Draft 2

Pada draft 2 dengan panjang (L) kapal model sebesar 25 cm, lebar (B) sebesar 3 cm dan draft (t) sebesar 1 cm maka dapat diperoleh hambatan dengan pengujian variasi empat kecepatan

Tabel 4. 4 Data hasil penelitian pada draft 1 cm

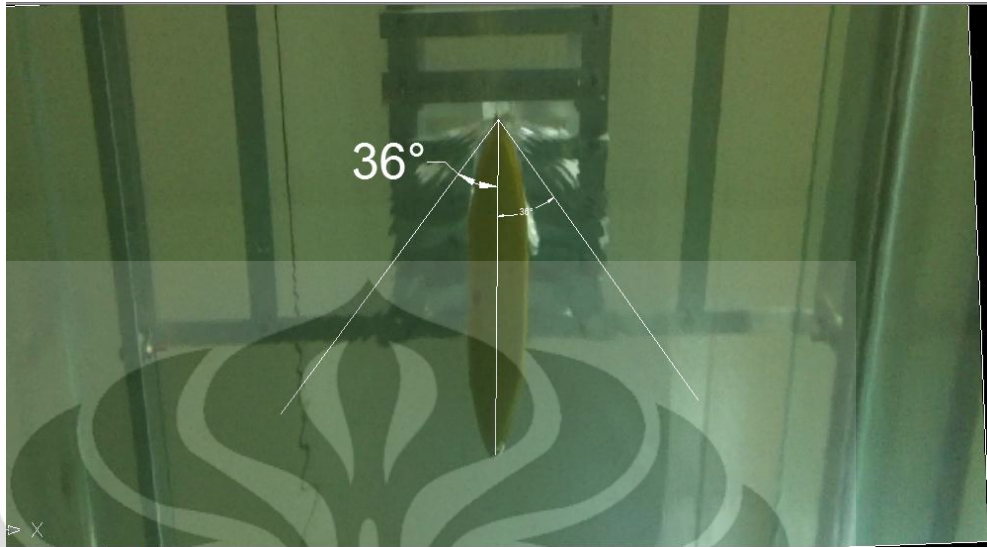
Rt	$\theta$
0.009522	42
0.010079	40
0.010432	36
0.010584	34

Data di atas merupakan data hasil percobaan uji tarik di kolam pengujian. Dilakukan pengambilan data secara berulang untuk mendapatkan nilai hambatan total kapal pada variasi kecepatan yang berbeda. Dari data berupa kecepatan kapal diolah dengan bantuan persamaan berikut :

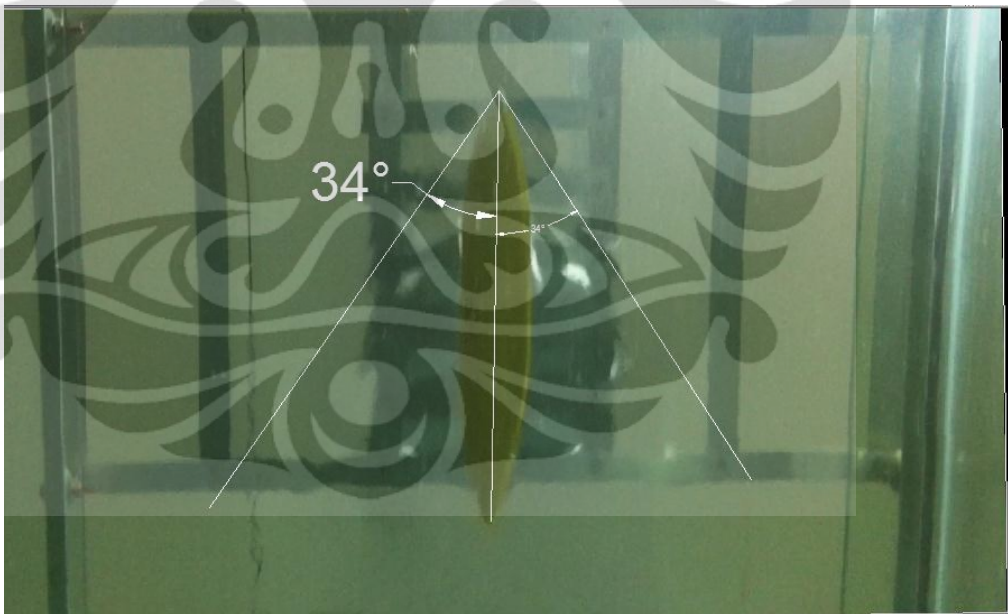
$$Fn = \frac{v}{\sqrt{gL}} \quad (2.21)$$

Untuk mendapatkan hasil bentuk gelombang, didapat dari *high speed camera* yang diletakkan di bawah kolam. Berikut hasil foto dan berapa nilai sudut dengan bantuan *autocad*





Gambar 4. 9 Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.41 m/s sebesar  $36^{\circ}$



Gambar 4. 10 Sudut yang dihasilkan pada kecepatan 0.44 m/s sebesar  $34^{\circ}$

Dari data diatas dapat disajikan didalam tabel, sebagai berikut

Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan  $F_n$ ,  $R_t$  (kg),  $\theta$

$V_s$ (m/s)	$F_n$	$R_t$ (kg)	$\theta$
0.309278	0.126236	0.009522	42
0.35503	0.155986	0.010079	40



















































































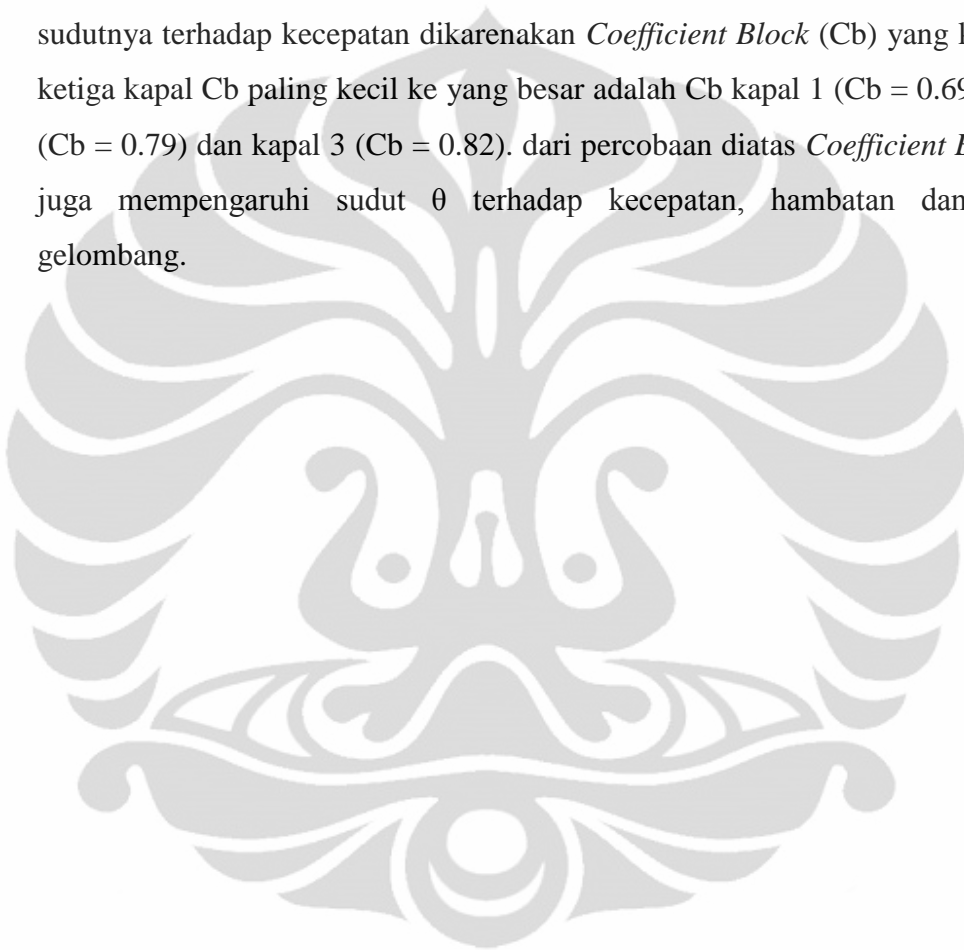






Dari grafik diatas menunjukkan hubungan panjang gelombang dan sudut yang dihasilkan oleh kapal. Dapat dilihat semakin besar kecepatannya semakin kecil sudut yang dihasilkan yang dikarenakan semakin panjangnya panjang gelombang.

Dari ketiga kapal, kapal 1 memperoleh nilai dengan sudut yang kecil dari sudut yang lainnya, contohnya pada grafik *Froude Number (Fn) Vs Sudut  $\theta$* , lihat gambar 4.62, 4.64 dan 4.66. pada grafik memperlihatkan kapal 1 lebih kecil sudutnya terhadap kecepatan dikarenakan *Coefficient Block (Cb)* yang kecil. Dari ketiga kapal Cb paling kecil ke yang besar adalah Cb kapal 1 ( $C_b = 0.69$ ), kapal 2 ( $C_b = 0.79$ ) dan kapal 3 ( $C_b = 0.82$ ). dari percobaan diatas *Coefficient Block (Cb)* juga mempengaruhi sudut  $\theta$  terhadap kecepatan, hambatan dan panjang gelombang.



## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

1. Seiring bertambahnya Froude number dan hambatan total pada variasi draft dan kecepatan maka semakin kecil sudut yang dihasilkan. Semakin besar nilai panjang gelombang ( $\lambda$ ) semakin kecil sudut yang dihasilkan oleh tiga kapal selam yang berbeda.
2. Dari ketiga kapal selam, kapal 1 dengan  $C_b = 0.69$ , kapal 2  $C_b = 0.79$  dan kapal 3  $C_b = 0.82$ , nilai sudut  $\theta$  dan hambatan yang terkecil pada *displacement* yang sama didapat oleh kapal 1. Nilai hambatan dan sudut kecil dikarenakan nilai *coefficient block* ( $C_b$ ) yang kecil. Jadi, semakin besar *coefficient block* ( $C_b$ ) semakin besar pula sudut dan hambatan yang dihasilkan begitupula sebaliknya.

#### 5.2 Saran

Saran yang dapat penulis berikan dalam penelitian ini adalah :

1. Penelitian ini hanya sebatas percobaan, untuk penelitian selanjutnya dapat dibandingkan dengan hasil analisis CFD.
2. Selain analisis CFD percobaan ini bisa juga dengan perhitungan matematis, sehingga bisa menggabungkan ketiga hasil data tersebut sehingga bisa menghasilkan data yang valid.
3. Percobaan selanjutnya dapat menghitung amplitudo gelombang yang berpengaruh pada hambatan kapal.



## DAFTAR PUSTAKA

- Faltinsen, Odd M. 2010. *Hydrodynamics of High-Speed Marine Vehicles*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Harvald, S A. 1983. *Resistance and Propulsion of Ships*, John Wiley and Sons, Toronto, Canada.
- Hogben, N dan Standing, R (1975), *Wave Pattern Resistance From Routine Model Tests*, Trans. RINA, Vol. 117.
- ITTC (2002), *Recommended Procedure and Guidelines, Testing and Extrapolation Methods Resistance Towing Tank Tests*, ITTC 7,5-02-02-02.
- ITTC (2002), *Recommended Procedure and Guidelines, Model Manufacture: Ship Models*, ITTC 7,5-01-01-01.
- Igor V. Shugan, Kwi Jo Lee, An Jung Sun. 2006. "Kelvin Wake in the Presence of Surface Waves". A 357 (2006) 232-235.
- Ksenija Maver, Rudi Podgornik. 2004. *Kelvin Ship Wave*. Ljubljana: University of Ljubljana
- Molland, A.F. (2008). *A Guide to Ship Design, Construction and Operation*. The Maritime Engineering Reference Book, Butterworth-Heinemann, Elsevier.
- Parsons, Michael G. 2003. *Ship Design and Construction Volume II*. Jersey City : The Society of Naval Architect and Marine Engineering.
- Rixco. 2008. *Jenis Kapal Selam Pasca Dunia ke Dua*.  
[http://rixco.multiply.com/journal/item/270/JENIS-JENIS\\_KAPAL\\_SELAM\\_PASCA\\_PERANG\\_DUNIA\\_KE\\_DUA\\_?&show\\_interstitial=1&u=%2Fjournal%2Fitem](http://rixco.multiply.com/journal/item/270/JENIS-JENIS_KAPAL_SELAM_PASCA_PERANG_DUNIA_KE_DUA_?&show_interstitial=1&u=%2Fjournal%2Fitem)

The Navy Times Book of Submarine. 2011. World Submarine History Timeline.  
<http://www.submarine-history.com/NOVAone.htm>

Yang, Jinghai. 2004. *Time Domain Linear Theorie on Ship Motion*. Hawaii:  
Department of Ocean and Engineering of The University of Hawaii.

