



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI KELAYAKAN PENERAPAN SISTEM *BALLAST*  
UDARA TEKAN PADA KAPAL KERUK *CUTTER SUCTION*  
*DREDGER***

**SKRIPSI**

**LUTFI MOHAMMAD RIDO SHOHIBUDIN**

**0806459242**

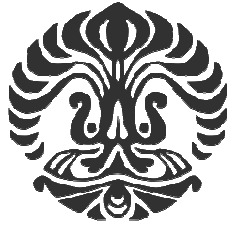
**FAKULTAS TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN**

**PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN**

**DEPOK**

**JULI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI KELAYAKAN PENERAPAN SISTEM *BALLAST*  
UDARA TEKAN PADA KAPAL KERUK *CUTTER SUCTION*  
*DREDGER***

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**LUTFI MOHAMMAD RIDO SHOHIBUDIN**

**0806459242**

**FAKULTAS TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN**

**PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN**

**DEPOK**

**JULI 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Lutfi Mohammad Rido Shohibudin

NPM : 0806459242

TandaTangan :



Tanggal : 16 Juli 2012





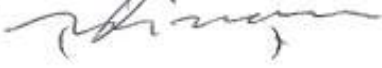
## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Lutfi Mohammad Rido Shohibudin  
NPM : 0806459242  
Program Studi : Teknik Perkapalan  
Judul Skripsi : Studi Kelayakan Penerapan Sistem *Ballast* Udara Tekan Pada Kapal Keruk *Cutter Suction Dredger*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Hadi Tresno Wibowo (  )  
Penguji : Ir. M. A. Talahatu, M.T (  )  
Penguji : Ir. Sunaryo, Ph.D (  )  
Penguji : Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Sc, M. Eng (  )  
Penguji : Ir. Mukti Wibowo (  )

Ditetapkan di : Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok

Tanggal : 16 Juli 2012

## KATA PENGANTAR

Skripsi yang disusun ini berjudul “Studi Kelayakan Penerapan Sistem Ballast Udara Tekan Pada Kapal Keruk *Cutter Suction Dredger*” merupakan salah satu prasyarat dalam memperoleh gelar sarjana pada program studi Teknik Perkapalan, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan nikmat sehat dan umur kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan;
2. Ir. Hadi Tresno Wibowo sebagai pembimbing yang telah memberikan ide, pengarahan dan bimbingannya kepada penulis selama penelitian dan pada saat penulisan skripsi hingga selesai;
3. Seluruh Dosen Departemen Teknik Mesin yang telah mencurahkan ilmunya selama masa perkuliahan kepada penulis;
4. Kedua orang tua yang telah memberikan doa dan dukungannya, baik moral maupun material kepada penulis;
5. Rissa Soufhiyani yang selalu memberikan motivasi dan semangat kepada penulis;
6. Ismail sebagai teman skripsi yang sering berdiskusi dan berbagi pengetahuan tentang kapal keruk tipe *cutter suction dredger*;
7. Helmi Dadang dan Iwan Rusdian yang telah membantu dalam pembuatan model tangki *ballast*;
8. Iqbal Adi Kumbara yang sering berdiskusi mengenai sistem *ballast*;
9. Bapak Marsudi dan Pengurus Masjid UI yang telah membantu dalam penyediaan sarana dan prasarana kepada penulis.
10. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik untuk perbaikan dan penyempurnaan penulisan ini. Semoga penulisan skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak dan dapat menjadi pedoman dalam penelitian selanjutnya.

Depok, 16 Juli 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAN PERSETUJUAN PUBLIKASI**  
**TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Lutfi Mohammad Rido Shohibudin

NPM : 0806459242

Program Studi : Teknik Perkapalan

Departemen : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Rights) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**“Studi Kelayakan Penerapan Sistem *Ballast* Udara Tekan Pada Kapal Keruk Cutter Suction Dredger”**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas royalti non eksklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 16 Juli 2012

Yang menyatakan,



Lutfi Mohammad Rido Shohibudin

## ABSTRAK

Nama : Lutfi Mohammad Rido Shohibudin  
Program Studi : Teknik Perkapalan  
Judul : Studi Kelayakan Penerapan Sistem *Ballast* Udara Tekan  
Pada Kapal Keruk *Cutter Suction Dredger*

Sebuah kapal memiliki suatu sistem agar kapal dapat tenggelam dan mengapung di dalam air. Sistem ini disebut sistem *ballast*. Sistem *ballast* ini merupakan suatu sistem untuk memanipulasi berat benda di dalam air. Pada skripsi ini membahas mengenai kelayakan sistem apung tenggelam yang menggunakan air dan udara bertekanan. Sistem ini akan diterapkan pada sistem apung tenggelamnya kapal keruk yang bertipe *Cutter-Suction Dredger*.

Kapal keruk ini memiliki dua buah ponton di samping kiri-kanannya sebagai alat penyeimbang atau menjaga kestabilannya. Sistem *ballast* ini diterapkan di ponton-ponton ini dengan air dan udara bertekanan. Hal ini bertujuan untuk memberikan stabilitas dan memberikan kemudahan operator saat bekerja. Maka dirancanglah sebuah simulasi tangki *ballast* dengan volume 0,027 m<sup>3</sup>. Sistem *ballast* ini mampu membuat ponton dapat tenggelam dan mengapung dengan cepat dan efisien. Dengan menggunakan sistem udara tekan ini juga diharapkan dapat mempercepat ketika beroperasi.

***Kata kunci: Sistem ballast, udara bertekanan, kapal keruk***

## ABSTRACT

Name : Lutfi Mohammad Rido Shohibudin  
Study Program : Teknik Perkapalan  
Title : Study The Feasibility of Applying The Air Compressed Ballast System Dredger Ship on Cutter Suction Dredger

A ship has a system so that the ship can sink and float in the water. This system is called a ballast system. Ballast system is a system for manipulating heavy objects in the water. In this thesis discusses the feasibility of sinking a floating system that uses water and compressed air. This system will be applied to the floating system tenggelamya dredger which-Cutter Suction Dredger type.

This dredger pontoon has two pieces on the left-right as a tool to maintain balance or stability. Ballast system is implemented in the pontoons, the pontoons with water and pressurized air. It aims to provide stability and provide ease of operator at work. Then designed a simulated ballast tank with a volume of 0.027 m<sup>3</sup>. Ballast system is able to be submerged and floating pontoons quickly and efficiently. By using the compressed air system is also expected to accelerate when in operation.

***Keywords: ballast system, pressurized air, dredgers***

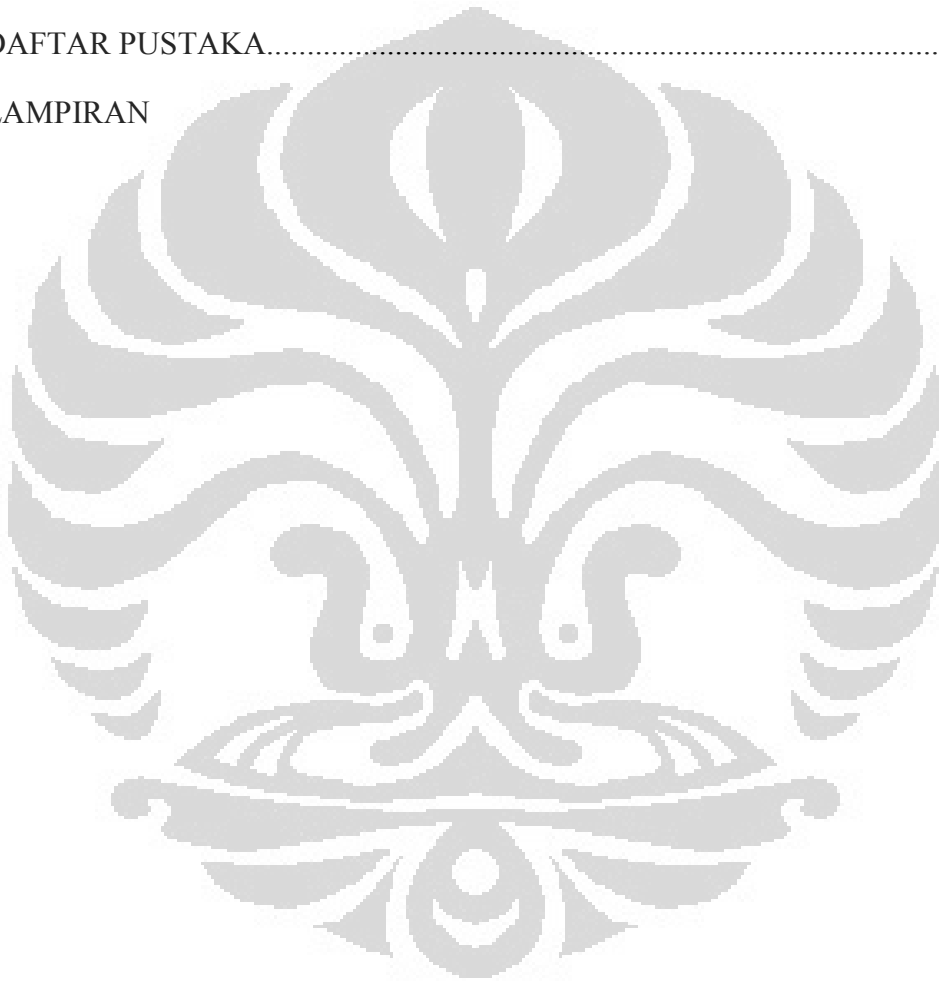


## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR GRAFIK.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB 1.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH.....	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	3
1.4 BATASAN MASALAH.....	3
1.5 METODOLOGI PENELITIAN.....	4
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN.....	4
BAB 2 .....	6
DASAR TEORI.....	6
2.1 KONSEP TEKANAN.....	6
2.1.1 TEKANAN PADA BENDA PADAT.....	6
2.1.2 TEKANAN PADA BENDA CAIR.....	7
2.1.3 TEKANAN PADA BENDA GAS.....	13

2.2 STABILITAS KAPAL.....	15
2.2.1 TITIK- TITIK PENTING DALAM STABILITAS KAPAL.....	17
2.2.2 MOMEN PENEGAK.....	18
2.2.3 SISTEM BALLAST.....	20
2.3 KOMPRESOR DAN KONSEP UDARA TEKAN.....	25
2.4 KAPAL KERUK.....	27
2.4.1 Pengerukan.....	27
2.4.2 JENIS-JENIS KAPAL KERUK .....	28
BAB 3.....	34
DISAIN SISTEM BALLAST UDARA BERTEKANAN PADA KAPAL KERUK CUTTER SUCTION DREDGER.....	34
3.1 KAPAL KERUK CUTTER SUCTION DREDGER.....	34
3.1.1 DATA KAPAL KERUK.....	34
3.1.2 PERHITUNGAN STABILITAS .....	36
3.2 PERANCANGAN SISTEM BALLAST UDARA TEKAN KAPAL KERUK CUTTER SUCTION DREDGER.....	51
3.2.1 PENDAHULUAN.....	51
3.2.2 GAMBARAN UMUM SISTEM BALLAST UDARA TEKAN KAPALKERUK CUTTER SUCTION DREDGER.....	52
3.3 MODEL SISTEM BALLAST UDARA TEKAN.....	54
BAB 4.....	57
PENGAMBILAN DATA, PERHITUNGAN SERTA ANALISA SISTEM BALLAST UDARA BERTEKANAN.....	57
4.1 PERCOBAAN SIMULASI SISTEM BALLAST UDARA TEKAN.....	57
4.1.1 PERALATAN UTAMA PENGUJIAN .....	57
4.1.2 PROSEDUR PERCOBAAN MODEL BALLAST.....	60
4.2 HASIL PERCOBAAN.....	62
4.3 PENGOLAHAN DATA HASIL SIMULASI MODEL BALLAST.....	66
4.4 ANALISA PERCOBAAN.....	72

4.5. ANALISA PERBANDINGAN SISTEM BALLAST UDARA TEKAN PADA KAPAL KERUK CUTTER SUCTION DREDGER DENGAN PERCOBAAN MODEL.....	
BAB 5.....	75
KESIMPULAN DAN SARAN.....	75
5.1 KESIMPULAN.....	75
5.2 SARAN.....	76
DAFTAR PUSTAKA.....	77
LAMPIRAN	



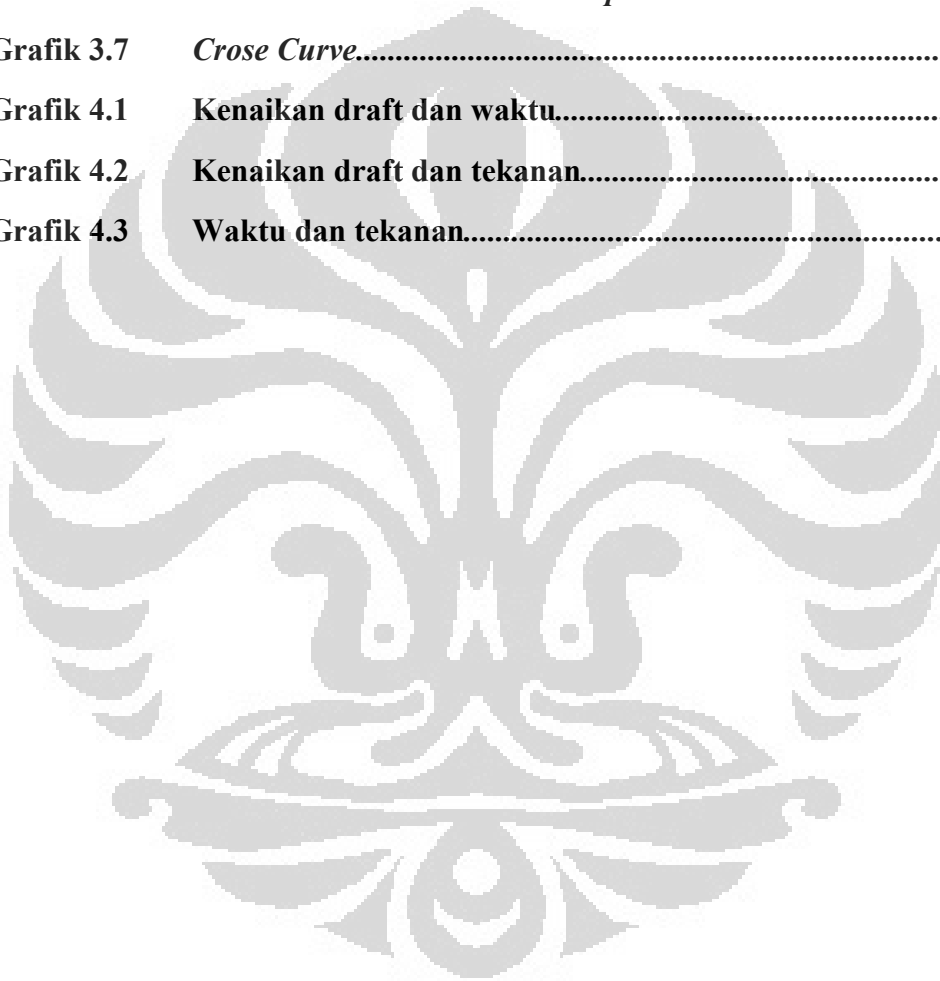
## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar2.1</b>	<b>Gaya-gaya yang diterima objek ketika mengapung di air..</b>	<b>8</b>
<b>Gambar2.2</b>	<b>Berat benda &gt; gaya apung.....</b>	<b>9</b>
<b>Gambar2.3</b>	<b>Berat benda = gaya apung.....</b>	<b>10</b>
<b>Gambar2.4</b>	<b>Berat benda &lt; gaya apung.....</b>	<b>10</b>
<b>Gambar2.5</b>	<b>Gerak vertikal <i>buoyancy</i>.....</b>	<b>11</b>
<b>Gambar2.6</b>	<b>Gaya yang terjadi pada benda di air dengan arah percepatan ke atas.....</b>	<b>13</b>
<b>Gambar2.7</b>	<b>Ilustrasi posisi ketiga titik utama yang mempengaruhi kondisi stabilitas.....</b>	<b>18</b>
<b>Gambar2.8</b>	<b>Momen penegak.....</b>	<b>18</b>
<b>Gambar2.9</b>	<b>Contoh KurvaLengan Stabilitas.....</b>	<b>19</b>
<b>Gambar2.10</b>	<b>Ilustrasi tangki <i>ballast</i>.....</b>	<b>20</b>
<b>Gambar2.11</b>	<b>Sistem ballast pada kapal kargo.....</b>	<b>22</b>
<b>Gambar2.12</b>	<b>Menyelam secara dinamik.....</b>	<b>23</b>
<b>Gambar2.13</b>	<b>Piston <i>ballast tank</i>.....</b>	<b>23</b>
<b>Gambar2.14</b>	<b><i>Flooding dan Blowing Dari Sistem Ballast</i>.....</b>	<b>24</b>
<b>Gambar2.15</b>	<b>Trailing suction hopper dredger.....</b>	<b>30</b>
<b>Gambar2.16</b>	<b><i>Cutter-suction dredger</i>.....</b>	<b>31</b>
<b>Gambar2.17</b>	<b><i>Backhoe/dipper dredge</i>.....</b>	<b>32</b>
<b>Gambar2.18</b>	<b><i>Water injection dredger</i>.....</b>	<b>33</b>
<b>Gambar3.1</b>	<b>Pandangan Depan Kapal Keruk PT.X.....</b>	<b>34</b>
<b>Gambar3.2</b>	<b><i>Compartment Particulars</i>.....</b>	<b>35</b>
<b>Gambar3.3</b>	<b>Kondisi kapal saat <i>full consumable</i>.....</b>	<b>41</b>
<b>Gambar3.4</b>	<b>Kondisi Kapal Saat 10% <i>Consumable And Crane Operation</i>.....</b>	<b>44</b>
<b>Gambar3.5</b>	<b>Kondisi Kapal Saat Full Consumable And Craneoperation.....</b>	<b>47</b>
<b>Gambar3.6</b>	<b>Tampak depan kapal keruk. V1 valve bagian bawah, V2 valve bagian atas, K kolom air yang dipertahankan.....</b>	<b>51</b>

<b>Gambar3.7</b>	<b>Aplikasi sistem udara tekan pada kapal keruk.....</b>	<b>52</b>
<b>Gambar3.8</b>	<b>Diagram skematik sistem ballast denga memakai udara tekan (1.Filter. 2. Kompresor. 3. Reservoir. 4. 3 way valve. 5. Tangki ballast).....</b>	<b>53</b>
<b>Gambar3.9</b>	<b>Tangki <i>ballast</i> bagian depan.....</b>	<b>53</b>
<b>Gambar3.10</b>	<b>Tangki <i>Ballast</i> bagian belakang.....</b>	<b>54</b>
<b>Gambar3.11</b>	<b>Model tangki <i>ballast</i> belakang.....</b>	<b>55</b>
<b>Gambar3.12</b>	<b>Model yang telah dibuat dan siap digunakan.....</b>	<b>56</b>
<b>Gambar4.1</b>	<b>Kolam uji.....</b>	<b>57</b>
<b>Gambar4.2</b>	<b>Massa pelat galvanise yang terbungkus koran.....</b>	<b>57</b>
<b>Gambar4.3</b>	<b><i>Ball valve (hand valve)</i>.....</b>	<b>58</b>
<b>Gambar4.4</b>	<b><i>Pressure Gauge</i>.....</b>	<b>59</b>
<b>Gambar4.5</b>	<b>Mistar plastik.....</b>	<b>59</b>
<b>Gambar4.6</b>	<b>Kompresor.....</b>	<b>60</b>
<b>Gambar4.7</b>	<b>Proses Penenggelaman tangki.....</b>	<b>61</b>
<b>Gambar4.8</b>	<b>Keran bagian bawah terbuka.....</b>	<b>61</b>
<b>Gambar4.9</b>	<b>Proses pengisian udara tekan dari kompresor.....</b>	<b>62</b>

## DAFTAR GRAFIK

<b>Grafik 3.1</b>	<b>Kurva hidrostatis.....</b>	<b>36</b>
<b>Grafik 3.2</b>	<b><i>Light weight</i>.....</b>	<b>38</b>
<b>Grafik 3.3</b>	<b><i>10% Consumable</i>.....</b>	<b>40</b>
<b>Grafik 3.4</b>	<b><i>Full Consummable</i>.....</b>	<b>43</b>
<b>Grafik 3.5</b>	<b>Kondisi Kapal Saat 10% Dan Crane Operation.....</b>	<b>46</b>
<b>Grafik 3.6</b>	<b><i>Full Consumable And Crane Operation</i>.....</b>	<b>49</b>
<b>Grafik 3.7</b>	<b><i>Crose Curve</i>.....</b>	<b>50</b>
<b>Grafik 4.1</b>	<b>Kenaikan draft dan waktu.....</b>	<b>70</b>
<b>Grafik 4.2</b>	<b>Kenaikan draft dan tekanan.....</b>	<b>71</b>
<b>Grafik 4.3</b>	<b>Waktu dan tekanan.....</b>	<b>71</b>

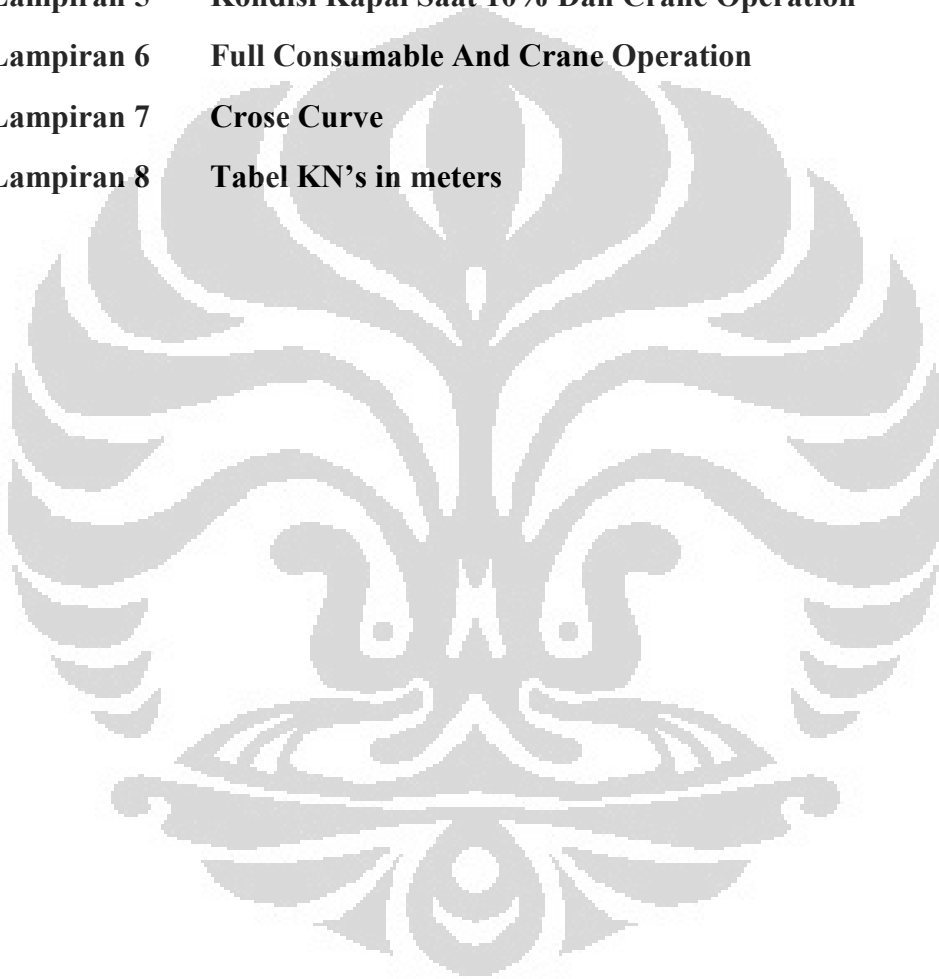


## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Dimensi Utama Kapal Keruk PT. X.....	34
Tabel 3.2	<i>Compartment Particulars</i> .....	35
Tabel 3.3	Kondisi berat kapal dalam keadaan kosong.....	37
Tabel 3.4	Stabilitas kapal saat <i>crane</i> tidak beroperasi.....	37
Tabel 3.5	Draft pada sudut keseimbangan.....	38
Tabel 3.6	<i>Pontoon crane</i> .....	38
Tabel 3.7	Kondisi Kapal Pada 10% <i>Consumable</i> .....	39
Tabel 3.8	Draft pada sudut keseimbangan.....	40
Tabel 3.9	Pontoon Crane.....	40
Tabel 3.10	Kondisi kapal saat <i>full consumable</i> .....	41
Tabel 3.11	Drafts Pada sudut keseimbangan.....	42
Tabel 3.12	Pontoon Crane.....	43
Tabel 3.13	10% <i>consumable and crane operation</i> .....	44
Tabel 3.14	Drafts at equilibrium angle.....	45
Tabel 3.15	Pontoon Crane.....	46
Tabel 3.16	<i>Full Consumable And Crane Operation</i> .....	47
Tabel 3.17	Drafts Pada Sudut Keseimbangan.....	48
Tabel 3.18	Pontoon Crane.....	49
Tabel 4.1	Percobaan ke-1.....	63
Tabel 4.2	Percobaan ke-2.....	63
Tabel 4.3	Percobaan ke-3.....	64
Tabel 4.4	Percobaan ke 4.....	64
Tabel 4.5	Percobaan ke-5.....	65
Tabel 4.6	Rata-rata Percobaan.....	65
Tabel 4.7	Tekanan Hidrostatik yang diberikan zat cair.....	67
Tabel 4.8	Tekanan udara dari kompresor.....	68
Tabel 4.9	Waktu yang diperlukan untuk mengeluarkan air dari dalam kotak model.....	69

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1**    **Tabel Hidrostatik kapal keruk Cutter Suction Dredger**
- Lampiran 2**    **Berat Kapal Kosong**
- Lampiran 3**    **10% Consumable**
- Lampiran 4**    **Full Consummable**
- Lampiran 5**    **Kondisi Kapal Saat 10% Dan Crane Operation**
- Lampiran 6**    **Full Consumable And Crane Operation**
- Lampiran 7**    **Crose Curve**
- Lampiran 8**    **Tabel KN's in meters**





# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. LATAR BELAKANG PERMASALAHAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terdiri dari beberapa pulau. Jumlah pulau di Indonesia menurut data Departemen Dalam Negeri Republik Indonesia tahun 2004 adalah sebanyak 17.504 buah. 7.870 di antaranya telah mempunyai nama, sedangkan 9.634 belum memiliki nama. Begitu juga dengan jumlah sungai yang ada di Indonesia sehingga dapat dikatakan bahwa wilayah perairan lebih besar dibandingkan dengan wilayah daratnya.

Sejalan dengan bergulirnya waktu, wilayah perairan tersebut seperti laut, sungai, danau, dan lain-lain mengalami sedimentasi oleh lumpur-lumpur yang terbawa oleh aliran. Pada kasus sungai, pendangkalan sering dapat mengakibatkan banjir atau penyempitan luas sungai. Untuk mengatasi masalah pendangkalan tersebut dibutuhkan alat kerja yang efektif untuk mengeruk seperti misalnya eskavator. Namun pada keadaan tertentu diperlukan sebuah alat yang lebih efisien dan efektif dalam hal waktu pengerukan ataupun kemampuan dalam pengerukan yang bisa digunakan di wilayah perairan. Sehingga dibuatlah kapal keruk yang diharapkan dapat menunjang kegiatan pengerukan.

Secara umum jika dilihat dari segi fisik kapal keruk ini seperti sebuah eskavator yang dipasang ponton-ponton untuk membuat daya apung eskavator tersebut. Sehingga ponton-ponton inilah yang memiliki peranan penting pada kapal keruk ini selain alat keruknya itu sendiri karena ponton-ponton inilah yang membuat kapal ini bisa terapung di perairan.

Pada ponton ini terdapat sebuah sistem yang membuat kapal ini terapung, yaitu sistem *ballast*. Sistem *ballast* merupakan salah satu sistem yang memiliki peranan penting dalam mengoperasikan sebuah kapal. Sistem *ballast* menjadi penopang utama sebuah stabilitas dari kapal. Instalasi sistem *ballast* yang sering digunakan pada kapal-kapal pada umumnya menggunakan tipe sistem *water ballast pump*. Sistem ini menggunakan pompa untuk mengisi dan mengeluarkan air ke tangki *ballast* sebagai pemberat.

Sistem kerja pada sistem *water ballast pump* ini adalah pertama, disaat kapal membutuhkan daya apung ke atas, air yang digunakan sebagai pemberat di tangki *ballast* harus dikeluarkan dari kapal. Kemudian pompa yang digunakan pada sistem ini berfungsi untuk mengeluarkan air dengan cara menghisap air kemudian dialirkan ke luar kapal. Kedua, disaat kapal membutuhkan gaya berat ke bawah untuk menjaga kestabilan kapal, dibutuhkan sejumlah air dari luar untuk mengisi tangki *ballast*. Juga pompa yang digunakan pada sistem ini digunakan untuk mengisi dengan cara menghisap air dari luar kapal kemudian dialirkan ke dalam tangki *ballast*.

Selain sistem tersebut, dikenal juga sistem *ballast* udara tekan. Sistem ini menggunakan kompresor untuk memberikan udara bertekanan disaat untuk mengeluarkan air di tangki *ballast*. Sebagai contoh kapal selam yang sering menggunakan sistem *ballast* udara tekan ini. Disaat kapal selam ini akan tenggelam dan membutuhkan gaya berat, air dibiarkan masuk ke dalam tangki *ballast* untuk mengisi kolom air yang dibutuhkan untuk membuat kapal tersebut tenggelam. Untuk kondisi melayang, kapal selam ini membutuhkan daya apung ke atas, sehingga air di dalam tangki *ballast* harus dibuang untuk mengurangi gaya berat kapal selam tersebut. Kompresor ini yang menyebabkan air keluar dengan cara ditiup yaitu memberikan udara tekan ke dalam tangki.

Sistem *ballast* yang lazim dipakai pada kapal keruk adalah menggunakan sistem *water ballast pump*. Sistem *ballast* ini diterapkan pada kedua ponton yang terpasang di kedua samping kiri-kanan kapal.

Kapal keruk yang akan dibahas pada penulisan ini adalah kapal keruk berjenis *Cutter Suction Dredger*. Perancangan penerapan sistem *water ballast pump* pada kapal keruk jenis CSD (*Cutter Suction Dredger*) ini dianggap akan tidak efisien. Dengan penggunaan pompa sentrifugal yang memerlukan dua siklus lalu lintas air sehingga membutuhkan instalasi pipa yang cukup banyak dan perawatan dianggap memiliki anggaran yang cukup mahal.

Sehingga pada tugas akhir ini penulis merancang sistem *ballast* yang diharapkan sesuai dan bisa diterapkan di kapal keruk CSD dan lebih efisien. Sistem *ballast* yang digunakan adalah sistem dengan menggunakan udara tekan. Kompresor sentrifugal yang digunakan bisa lebih hemat energi karena melakukan

satu kerja. Kompresor bekerja untuk mengeluarkan air dari tangki ballast dengan cara memberikan udara tekan yang sebelumnya sudah disimpan di tabung *reservoir*. Diharapkan kapal keruk CSD ini dengan menggunakan sistem *ballast* udara tekan dapat membantu operator dalam melakukan kerja pengerukan. Sehingga diharapkan penggunaan sistem *ballast* udara bertekanan dapat menekan biaya produksi dan dalam hal teknis dapat mempermudah operator.

## 1.2. PERUMUSAN MASALAH

Sistem *ballast* yang akan diterapkan ini merupakan sistem udara tekan. Penggunaan udara bertekanan ini dimaksudkan untuk membuang air yang ada di tangki *ballast* sehingga volume air yang dibuang dapat menambah daya apung ponton. Untuk menenggelamkan ponton ini air masuk dengan sendirinya melalui lubang yang terletak dibawah melalui lubang yang terletak di bawah permukaan air dan dikontrol oleh operator.

Dengan demikian, permasalahan ini dapat dijelaskan beberapa tahapan permasalahan yang harus diselesaikan dalam penulisan skripsi ini adalah:

- Bagaimana sistem *ballast* menggunakan sistem udara bertekanan ini dapat bekerja efektif, ketika akan tenggelam dan mengapung.
- Bagaimana pengaruh udara tekan pada tangki *ballast* terhadap kinerja sistem *ballast* kapal keruk.
- Seberapa besar tekanan yang dibutuhkan untuk mengeluarkan air dari tangki *ballast*.

## 1.3. TUJUAN PENULISAN

Tujuan penelitian ini adalah mempelajari apakah sistem *ballast* dengan menggunakan udara bertekanan dapat digunakan untuk sistem *ballast* kapal keruk jenis *Cutter Suction Dredger*.

## 1.4. BATASAN MASALAH

Untuk memfokuskan pembahasan, maka permasalahan akan dibatasi pada hal-hal berikut:

- Kapal Keruk yang akan dibahas pada penulisan ini adalah jenis *Cutter Suction Dredger*.
- Data yang digunakan untuk pengolahan data merupakan data hasil percobaan dan data perhitungan.
- Sistem yang akan dianalisa hanya pada udara bertekanan untuk sistem *ballast*.
- Percobaan yang dilakukan hanya untuk tes daya apung.
- Kapal keruk yang diteliti memiliki dimensi utama sebagai berikut:
  - a. *Lenght Overall* = 23,22 m
  - b. *Breadth* = 6 m
  - c. *Depth* = 1,5 m
  - d. *Draft* = 1 m
  - e. *Displacement* = 109 ton

### 1.5. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan dalam pelaksanaan dan penulisan skripsi ini adalah :

- Konsultasi dengan dosen pembimbing.
- Konsultasi dengan pihak perusahaan pembuatan kapal keruk.
- Studi literatur mengenai sistem ballast kapal biasa dengan kapal selam.
- Studi literatur mengenai sistem kerja udara bertekanan pada tangki atau ruangan tertutup.
- Pengambilan data untuk sistem *ballast* udara bertekanan dengan melakukan percobaan.
- Pengolahan data dan analisis dari data-data hasil percobaan
- Membuat kersimpulan.

### 1.6. SISTEMATIKA PENULISAN

Untuk membantu memudahkan pembaca dalam memahami penelitian yang dilakukan maka pembahasan yang dilakukan dalam skripsi ini adalah sebagai berikut:

#### 1. BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini terdiri dari latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penelitian.

2. **BAB II. DASAR TEORI**

Bab ini berisi mengenai dasar teori yang akan dipakai dan berhubungan dalam menyelesaikan masalah yang akan dibahas.

3. **BAB III. PERENCANAAN SISTEM *BALLAST* UDARA TEKAN**

Bab ini menjelaskan tahapan perencanaan sistem *ballast* udara tekan sehingga diharapkan dapat digunakan di kapal keruk *Cutter Suction Dredger*.

4. **BAB IV. PENGAMBILAN DATA, PERHITUNGAN SERTA ANALISA SISTEM *BALLAST* UDARA BERTEKANAN**

Bab ini berisi data-data dan perhitungannya serta analisa sistem *ballast* udara tekan yang kemudian dapat dijadikan referensi dalam membuat sistem *ballast* pada kapal keruk *Cutter Suction Dredger*.

5. **BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan dan dibahas pada bab-bab sebelumnya serta menjawab tujuan dari penelitian. Selain itu bab ini mencakup saran-saran yang mungkin berguna untuk pengembangan lebih lanjut.

6. **DAFTAR PUSTAKA**

Bagian ini memuat sumber data dan referensi yang digunakan sebagai acuan pembuatan skripsi ini.

## **BAB 2**

### **DASAR TEORI**

Pada bab ini akan membahas beberapa dasar-dasar teori yang berkaitan dengan penelitian pada skripsi ini. Teori-teori yang berhubungan dengan skripsi ini diantaranya, yaitu konsep tekanan, kestabilan, udara tekan dan kompresor, serta teori umum mengenai kapal keruk.

#### **2.1. Konsep Tekanan**

Atmosfir merupakan lapisan Atmosfir merupakan lapisan udara yang mengelilingi bumi. Lapisan udara tetap berada diatas permukaan bumi, karena adanya gaya grafitasi yang cukup besar. Tekanan atmosfir berbeda-beda untuk tiap lapisan, semakin bertambah ketinggian semakin berkurang tekanan atmosfirnya. Pada permukaan laut, rata-rata tekanan atmosfir adalah  $1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  atau  $14,7 \text{ lb/in}^2$  atau disebut 1 atm. Satuan tekanan lain yang kadang-kadang digunakan adalah Bar, yang didefinisikan sebagai  $1 \text{ Bar} = 1,00 \times 10^5 \text{ N/m}^2 = 100 \text{ kPa}$ . Dengan demikian tekanan atmosfir standar sedikit lebih besar dari 1 Bar. Untuk konsep tekanan ada beberapa pembahasan yang berkaitan dengan konsep tekanan, diantaranya percobaan Archimides, Pascal, Torricelli, Pascal, dan lain-lain.

##### **2.1.1. Tekanan Pada Benda Padat**

Ketika seseorang mendorong uang logam di atas plastisin, berarti seseorang itu telah memberikan gaya pada uang logam. Besarnya tekanan uang logam pada plastisin bergantung pada besarnya dorongan (gaya) yang diberikan dan luas bidang tekannya. Semakin besar gaya tekan yang diberikan, semakin besar pula tekanan yang terjadi. Namun, semakin besar luas bidang tekan suatu benda maka semakin kecil tekanan yang terjadi. Dengan demikian, tekanan berbanding lurus dengan gaya tekan dan berbanding terbalik dengan luas bidang tekan. Secara matematis, besaran tekanan dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut

$$p = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

dengan : P = tekanan (N/m<sup>2</sup>)

F = gaya tekan (N)

A = luas bidang (m<sup>2</sup>)

Satuan tekanan dalam Sistem Internasional (SI) adalah N/m<sup>2</sup>. Satuan ini juga disebut pascal (Pa). 1 Pa = 1 N/m<sup>2</sup>. Setelah mengetahui bahwa besar tekanan dipengaruhi oleh gaya dan luas bidang. Sehingga luasan permukaan benda khususnya ponton pada kapal keruk ini yang menyentuh air akan mempengaruhi tekanan ataupun gaya ke atas kapal keruk tersebut.

### 2.1.2. Tekanan Pada Benda Cair

Prinsip dasar tekanan pada benda cair ini dibagi menjadi beberapa hukum atau konsep, diantaranya hukum Archimedes, Pascal dan lain-lain.

#### 2.1.2.1. Hukum Archimedes

Hukum Archimedes menyatakan sebagai berikut, Sebuah benda yang tercelup sebagian atau seluruhnya ke dalam zat cair akan mengalami gaya ke atas yang besarnya sama dengan berat zat cair yang dipindahkannya. Sebuah benda yang tenggelam seluruhnya atau sebagian dalam suatu fluida akan mendapatkan gaya angkat ke atas yang sama besar dengan berat fluida fluida yang dipindahkan. Besarnya gaya ke atas menurut Hukum Archimedes ditulis dalam persamaan :

$$F_a = \rho \cdot V \cdot g \quad (2.2)$$

Keterangan :

F<sub>a</sub> = gaya ke atas (N)

V = volume benda yang tercelup (m<sup>3</sup>)

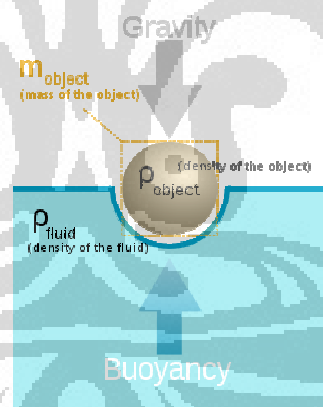
ρ = massa jenis zat cair (kg/m<sup>3</sup>)

g = percepatan gravitasi (N/kg)

Ketika memahami prinsip Archimedes, kita dapat mengenal juga istilah gaya apung. Dalam fisika, gaya apung (*buoyancy*) adalah gaya yang diberikan

oleh cairan, gas atau lainnya cairan, yang menentang berat obyek. Dalam sebuah kolom cairan, tekanan meningkat dengan kedalaman sebagai akibat dari berat cairan di atasnya. Dengan demikian kolom cairan, atau benda terendam dalam cairan, mengalami tekanan yang lebih besar di bagian bawah kolom daripada di bagian atas. Perbedaan dalam hasil tekanan dalam gaya total yang cenderung mempercepat suatu objek ke atas. Besar gaya yang sebanding dengan perbedaan tekanan antara bagian atas dan bagian bawah kolom, dan juga setara dengan berat fluida yang seharusnya menempati kolom. Untuk alasan ini, obyek yang densitasnya lebih besar daripada cairan cenderung akan tenggelam. Hal ini dapat terjadi karena memiliki medan gravitasi atau percepatan akibat gaya gravitasi. Dalam statika fluida, jumlah gaya apung ke atas adalah sama dengan besarnya berat cairan dipindahkan oleh tubuh.

Gambar di bawah ini menunjukkan gaya-gaya yang terjadi pada benda yang terapung. Objek yang memiliki massa dan mengapung di air mendapat gaya grafitasi kebawah dan gaya apung dari bawah yang memilki massa jenis yang berbeda dengan masa jenis objek.



Gambar 2.1:Gaya-gaya yang diterima objek ketika mengapung di air

Sumber: [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)

#### 2.1.2.2.Tenggelam, Melayang, dan Terapung

Pada hukum Archimedes dijelaskan bagaimana kondisi benda dapat terapung, melayang, dan tenggelam.Namun hukum ini juga bukan suatu hukum fundamental karena dapat diturunkan dari hukum newton juga.

- 1) Bila gaya archimedes sama dengan gaya berat  $W$  maka resultan gaya  $= 0$  dan benda melayang .



- 2) Bila  $F_A > W$  maka benda akan terdorong keatas akan melayang
- 3) Bila  $F_A < W$  maka benda akan terdorong kebawah dan tenggelam

Jika massa jenis fluida lebih kecil daripada massa jenis balok maka agar balok berada dalam keadaan seimbang, volume zat cair yang dipindahkan harus lebih kecil dari pada volume balok. Artinya tidak seluruhnya berada terendam dalam cairan dengan perkataan lain benda mengapung. Agar benda melayang maka volume zat cair yang dipindahkan harus sama dengan volume balok dan rapat massa cairan sama dengan rapat massa benda.

Jika rapat massa benda lebih besar daripada rapat massa fluida, maka benda akan mengalami gaya total ke bawah yang tidak sama dengan nol. Artinya benda akan jatuh tenggelam.

Berdasarkan Hukum Archimedes, sebuah benda yang tercelup ke dalam zat cair akan mengalami dua gaya, yaitu gaya gravitasi atau gaya berat ( $W$ ) dan gaya ke atas ( $F_a$ ) dari zat cair itu. Dalam hal ini ada tiga peristiwa yang berkaitan dengan besarnya kedua gaya tersebut yaitu seperti berikut.

a) Tenggelam

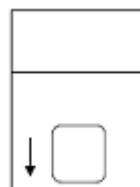
Sebuah benda yang memiliki massa jenis ( $\rho_b$ ) dan memiliki volume ( $V_b$ ) yang dicelupkan ke dalam zat cair yang memiliki volume ( $V_a$ ) akan tenggelam jika berat benda ( $w$ ) lebih besar dari gaya ke atas ( $F_a$ ).

$$W > F_a \quad (2.3)$$

$$\rho_b \times V_b \times g > \rho_a \times V_a \times g$$

$$\rho_b > \rho_a$$

Volume bagian benda yang tenggelam bergantung dari rapat massa zat cair ( $\rho$ )



Gambar 2.2: Berat benda > gaya apung

b) Melayang

Sebuah benda yang memiliki massa jenis ( $\rho_b$ ) dan memiliki volume ( $V_b$ ) yang dicelupkan ke dalam zat cair yang memiliki volume ( $V_a$ ) akan melayang jika berat benda ( $w$ ) sama dengan gaya ke atas ( $F_a$ ) atau benda tersebut tersebut dalam keadaan setimbang

$$W = F_a \quad (2.4)$$

$$\rho_b \times V_b \times g = \rho_a \times V_a \times g$$

$$\rho_b = \rho_a$$



Gambar 2.3: Berat benda = gaya apung

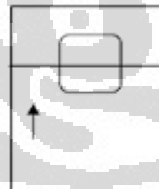
c) Terapung

Sebuah benda yang memiliki massa jenis ( $\rho_b$ ) dan memiliki volume ( $V_b$ ) yang dicelupkan ke dalam zat cair akan terapung jika berat benda ( $w$ ) lebih kecil dari gaya ke atas ( $F_a$ ).

$$W < F_a \quad (2.5)$$

$$\rho_b \times V_b \times g < \rho_a \times V_a \times g$$

$$\rho_b < \rho_a$$



Gambar 2.4: Berat benda < gaya apung

Selisih antara  $W$  dan  $F_A$  disebut gaya naik ( $F_n$ ).

$$F_n = F_A - W \quad (2.6)$$

Benda terapung tentunya dalam keadaan setimbang, sehingga berlaku :

$$F_A' = W$$

$$\rho_c \cdot V_{b_2} \cdot g = \rho_b \cdot V_b \cdot g \quad (2.7)$$

$F_A'$  = Gaya ke atas yang dialami oleh bagian benda yang tercelup di dalam zat cair.

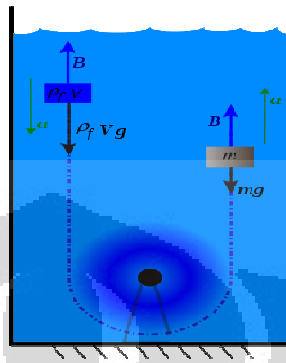
$V_{b_1}$  = Volume benda yang berada dipermukaan zat cair.

$V_{b_2}$  = Volume benda yang tercelup di dalam zat cair.

$$V_b = V_{b_1} + V_{b_2}$$

$$F_A' = \rho_c \cdot V_{b_2} \cdot g \quad (2.8)$$

Berat (massa) benda terapung = berat (massa) zat cair yang dipindahkan.



Gambar 2.5: Gerak vertikal *buoyancy*

Sumber: [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)

Daya apung (bouyancy) ada 3 macam, yaitu :

- Daya apung positif (positive bouyancy) : bila suatu benda mengapung.
- Daya apung negatif (negatif bouyancy) : bila suatu benda tenggelam.
- Daya apung netral (neutral bouyancy) : bila benda dapat melayang.

Setiap objek pada kedalaman tertentu akan memiliki tekanan yang berbeda. Perbedaan tekanan menyebabkan terjadinya daya apung ke atas. Besarnya nilai dari gaya apung keatas dapat diketahui dengan persamaan di bawah ini:

$$B = -\rho_f V_{disp} g \quad (2.9)$$

Dimana  $\rho_f$  adalah densitas dari fluida,  $V_{disp}$  adalah volume benda yang tercelup air, dan  $g$  adalah percepatan gravitasi di lokasi tersebut. Dengan kata lain "gaya apung" pada benda yang berada didalam air akan memiliki gaya tekan ketas berlawanan dengan arah gravitasi bumi sehingga didapatkan persamaan dibawah ini

$$B = \rho_f V g \quad (2.10)$$

Gaya total pada benda harus nol seperti prinsip Archimedes berlaku, dan dengan demikian jumlah gaya apung dan berat benda

$$F = 0 = mg - \rho_f V g \quad (2.11)$$

Perhitungan gaya ke atas pada objek terendam selama periode percepatan tidak dapat dilakukan oleh prinsip Archimedes sendiri, maka perlu mempertimbangkan dinamika objek yang melibatkan daya apung. Setelah itu benda sepenuhnya tenggelam ke dalam cairan atau naik ke permukaan dan mengendap, prinsip Archimedes dapat diterapkan sendiri. Untuk objek mengambang, dengan hanya menggantikan volume terendam air. Agar prinsip Archimedes digunakan, objek tersebut harus berada dalam keseimbangan oleh karena itu,

$$mg = \rho fVg \text{ maka,} \\ m = \rho fV \quad (2.12)$$

Menunjukkan bahwa kedalaman dimana objek mengambang akan tenggelam, dan volume cairan akan menggantikan, dan tidak bergantung pada medan gravitasi terlepas dari lokasi geografis. Hal ini dapat terjadi bahwa tidak hanya sekedar gaya apung dan gravitasi ikut bermain. Hal ini terjadi jika benda tersebut tertahan atau tenggelam. Sebuah objek yang cenderung untuk mengapung membutuhkan T menahan ketegangan memaksa agar tetap sepenuhnya terendam. Sebuah objek yang cenderung tenggelam pada akhirnya akan memiliki gaya normal dari kendala N diberikan atasnya oleh lantai yang solid. Gaya kendala dapat ketegangan dalam skala musim semi mengukur berat di fluida, dan adalah bagaimana berat semu didefinisikan.

Jika objek dinyatakan akan mengapung, ketegangan untuk mengendalikan sepenuhnya terendam adalah:

$$T = \rho fVg - mg \quad (2.13)$$

sehingga didapatkan gaya normal :

$$N = mg - \rho fV \quad (2.14)$$

'Buoyancy gaya = berat benda dalam ruang kosong - berat benda tenggelam dalam fluida'



Gambar 2.6: Gaya yang terjadi pada benda di air dengan arah percepatan ke atas

Sumber: [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)

### 2.1.2.3. Hukum Pascal

Hukum Pascal menyatakan bahwa *Tekanan yang diberikan zat cair dalam ruang tertutup diteruskan ke segala arah dengan sama besar.*

Perbedaan tekanan karena perbedaan kenaikan zat cair diformulakan sebagai berikut:

$$\Delta P = \rho g (\Delta h) \quad (2.15)$$

dimana, dalam SI unit,

- $\Delta P$  adalah tekanan hidrostatis (dalam pascal), atau perbedaan tekanan pada 2 titik dalam sekat yang berisi zat cair, karena perbedaan berat antara keduanya.
- $\rho$  adalah massa jenis zat cair (dalam kilogram per meter kubik).
- $g$  adalah kenaikan permukaan laut terhadap gravitasi bumi (dalam meter per detik pangkat 2).
- $\Delta h$  adalah ketinggian zat cair di atasnya (dalam meter), atau perbedaan kenaikan antara 2 titik pada sekat yang berisi zat cair.

### 2.1.3. Tekanan Pada Benda Gas

Berdasarkan sifatnya, gas akan menyebar mengisi ruang dimana gas itu ditempatkan sehingga berbentuk seperti ruang tersebut. Setiap gas akan berdifusi diantara semuanya dan akan bercampur dalam segala perbandingan. Oleh karena itu campuran gas merupakan campuran yang homogen. Sifat lain dari gas adalah partikel-partikel gas tidak dapat dilihat.

Tekanan gas biasanya diukur secara tidak langsung dengan jalan membandingkannya dengan tekanan cairan. Tekanan cairan hanya bergantung pada berat jenis dan tinggi cairan, yang didefinisikan sebagai berikut:

Gaya yang bekerja pada zat cair :

$$\begin{aligned} W &= m \cdot g \\ &= v \cdot d \cdot g \\ &= A \cdot h \cdot d \cdot g \end{aligned} \quad (2.16)$$

A = luas penampang zat cair

h = tinggi zat cair

d = densitas cairan

g = percepatan gravitasi

sehingga tekanan gas:

$$\begin{aligned} P &= \frac{F}{A} = \frac{W}{A} \\ &= \frac{A \cdot h \cdot d \cdot g}{A} \\ P &= h \cdot d \cdot g \end{aligned} \quad (2.17)$$

Pengukuran tekanan gas biasanya dilakukan dengan menggunakan barometer yang berisi air raksa. Satuan yang dipergunakan umumnya atmosfer (atm) mmHg (mm air raksa).

Berikut adalah beberapa hukum yang berlaku pada gas:

#### 2.1.3.1. Hukum Boyle

Hukum Boyle adalah salah satu dari banyak hukum kimia dan merupakan kasus khusus dari hukum kimia ideal. Hukum Boyle mendeskripsikan kebalikan hubung proporsi antara tekanan absolut dan volume udara, jika suhu tetap konstan dalam sistem tertutup.

Boyle menyatakan bahwa volume gas dalam suatu ruangan yang tertutup akan berbanding terbalik dengan tekannya bila suhu gas tetap.

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 \quad (2.18)$$

P<sub>1</sub> = tekanan mula-mula

P<sub>2</sub> = tekanan akhir

$V_1$  = volume gas awal

$V_2$  = volume gas akhir

### 2.1.3.2. Percobaan Torricelli

Pada tahun 1643 Evangelista Torricelli menetapkan tentang tekanan atmosfer dan menemukan alat untuk mengukurnya, yaitu barometer. Pada tahun 1643, Torricelli membuat eksperimen sederhana, yang dinamakan *Torricelli Experiment*, yaitu ia menggunakan sebuah tabung kaca kuat dengan panjang kira-kira 1 m dan salah satu ujungnya tertutup. Dengan menggunakan sarung menghadap ke atas. Dengan menggunakan corong ia menuangkan raksa dari botol ke dalam tabung sampai penuh. Kemudian ia menutup ujung terbuka tabung dengan jempolnya, dan segera membaliknya. Dengan cepat ia melepaskan jempolnya dari ujung tabung dan menaruh tabung vertikal dalam sebuah bejana berisi raksa. Ia mengamati permukaan raksa dalam tabung tuun dan berhenti ketika tinggi kolom raksa dalam tabung 76 cm di atas permukaan raksa dalam bejana. Ruang hampa terperangkap di atas kolam raksa. Ruang hampa ini kemudian terkenal dengan nama ruang hampa Torricelli. Selamanya beberapa hari Torricelli mengamati bahwa tinggi air raksa dalam tabung selalu berubah – ubah. Akhirnya ia tahu bahwa hal itu disebabkan oleh tekanan udara. Tekanan air raksa setinggi 76 cm itu kemudian disebut tekanan satu atmosfer

## 2.2. Stabilitas Kapal

Stabilitas adalah kemampuan kapal untuk kembali ke posisi semula setelah mengalami kemiringan akibat gaya yang berasal dari dalam maupun luar kapal. Menurut Taylor (1977) stabilitas dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu: 1) Keseimbangan stabil (*Stable equilibrium*), 2) Keseimbangan netral (*Neutral equilibrium*) dan 3) Keseimbangan tidak stabil (*Unstable equilibrium*)

- 1) Keseimbangan stabil (*Stable equilibrium*) adalah kondisi dimana kapal mampu kembali ke posisi tegak semula setelah mengalami olengan akibat gaya- gaya gangguan yang terjadi. Kondisi ini adalah pada saat titik pusat gravitasi (G) berada di bawah titik *metacenter*(M) atau dapat dikatakan kapal memiliki metasenter positif dengan lengan

penagak GZ) positif sehingga mampu mengembalikan kapal ke posisi semula.

- 2) Keseimbangan netral (*Neutral equilibrium*) adalah kondisi dimana kapal tidak mengalami kemiringan akibat gaya yang bekerja dan kondisi ini tetap tidak berubah ke posisi semula ataupun bergerak ke arah kemiringan. Pada kondisi ini, posisi titik (G) berimpit dengan titik *metacenter*(M) di satu titik (zero GM) dan tidak dihasilkan lengan kopel GZ. Kondisi ini juga disebut list.
- 3) Keseimbangan tidak stabil (*Unstable equilibrium*) adalah kondisi ketika kapal tidak mampu kembali ke posisi semula setelah kapal miring akibat gaya-gaya yang bekerja padanya. Pada kondisi ini kapal akan bergerak terus ke arah kemiringannya. Hal ini dapat terjadi apabila pusat gravitasi (G) lebih tinggi dari titik *metacenter* (M) atau kapal memiliki tinggi *metacenter*(GM) negatif dan lengan penagak (M) negatif meneruskan gerak ke arah kemiringan kapal.

Ditinjau dari sifatnya, stabilitas kapal dibedakan menjadi dua jenis yaitu stabilitas dinamis dan stabilitas statis. Stabilitas statis diperuntukkan bagi kapal dalam keadaan diam dan terdiri dari stabilitas melintang dan membujur. Stabilitas melintang adalah kemampuan kapal untuk tegak sewaktu mengalami kemiringan dalam arah melintang yang disebabkan oleh adanya pengaruh luar yang bekerja padanya, sedangkan stabilitas membujur adalah kemampuan kapal untuk kembali ke kondisi semula setelah mengalami kemiringan secara membujur oleh adanya pengaruh luar yang bekerja padanya. Stabilitas melintang kapal dapat dibagi menjadi sudut kecil ( $0^\circ - 15^\circ$ ) dan sudut besar ( $>15^\circ$ ). Akan tetapi untuk perhitungan stabilitas awal pada umumnya diperhitungkan hanya untuk kemiringan  $< 15^\circ$  dan pada stabilitas melintang saja.

Sedangkan stabilitas dinamis diperuntukkan bagi kapal-kapal yang sedang oleng atau mengangguk ataupun saat miring besar. Pada umumnya kapal hanya miring kecil saja. Jadi kemiringan besar misalnya melebihi  $20^\circ$  bukanlah hal yang biasa dialami. Kemiringan-kemiringan besar ini disebabkan oleh beberapa



keadaan seperti badai atau olengan besar maupun gaya dari dalam antara lain MG yang negatif.

Secara umum hal- hal yang mempengaruhi keseimbangan kapal dapat dikelompokkan kedalam dua kelompok, yaitu :

- Faktor internal yaitu tata letak barang/ cargo , bentuk ukuran kapal, kebocoran karena kandas atau tubrukan.
- Faktor eksternal yaitu berupa angin, ombak, arus dan badai.

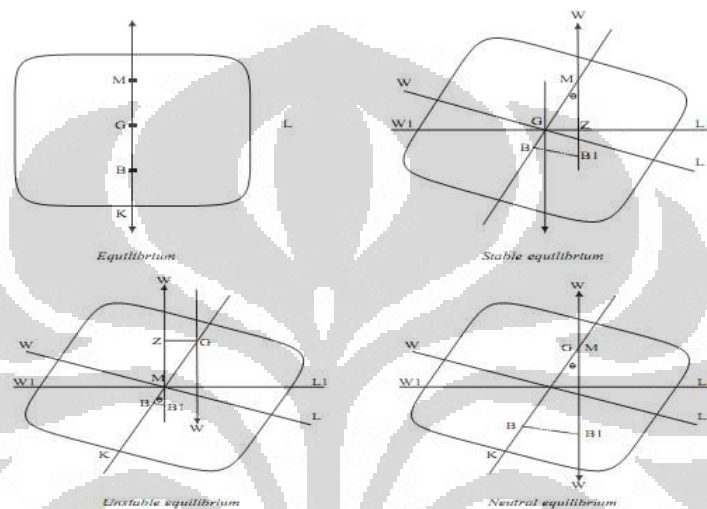
Oleh karena itu stabilitas erat hubungannya dengan bentuk kapal, muatan, draft, dan ukuran dari nilai MG. Posisi M hampir tetap sesuai dengan style kapal, pusat B (*bouyancy*) digerakkan oleh draft sedangkan pusat grafitai bervariasi posisinya tergantung pada muatan. Sedangkan titik M (*metasentrum*) aalah tergantung dari bentuk kapal, hubungannya dengan bentuk kapal yaitu lebar dan tinggi kapal, bila lebar kapal besar maka posisi M (*metasentrum*) bertambah tinggi begitu juga sebaliknya.

### 2.2.1. Titik- Titik Penting Dalam Stabilitas Kapal

Menurut Hind (1967) , titik- titik penting dalam stabilitas antara lain adalah titik metacenter (M), titik berat (G) dan titik apung (B).

- 1) Titik *metacenter*(M) adalah titik semu dari batas dimana titik G tidak boleh melewati di atas titik M agar kapal tetap mempunyai stabilitas positif (*stable equilibrium*). Titik metacenter dapat berubah- ubah sesuai dengan sudut kemiringan kapal. Apabila kapal miring dengan sudut kecil (kurang dari  $15^{\circ}$ ), maka titik apung bergerak di sepanjang busur dimana titik M merupakan titik pusatnya yang terletak dibidang tengah kapal (*centre of line*) akan mengalami sudut kemiringan yang sangat kecil sehingga titik M masih dianggap tetap.
- 2) Titik berat (G) adalah titik tangkap semua gaya- gaya yang menekan ke bawah terhadap kapal. Letak titik G di kapal dapat diperoleh dengan menghitung letak pembebanan muatan di kapal. Sehingga dapat dikatakan bahwa titik berat tidak akan berubah selama tidak ada perubahan peletakan pembebanan muatan walau kapal dalam kondisi miring.

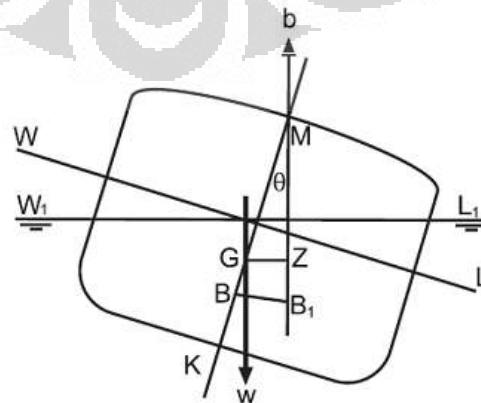
- 3) Titik apung (B) adalah titik tangkap semua gaya-gaya yang menekan ke atas terhadap pembebanan kapal. Berbeda dengan titik berat yang tidak berubah pada saat kapal dalam kondisi miring, pada titik apung akan berubah bergantung pada perubahan permukaan yang terendam di dalam air. Titik apung akan berpindah mengikuti arah kemiringan kapal untuk memberikan gaya balik keatas agar kapal tegak kembali setelah mengalami kemiringan.



Gambar 2.7 Ilustrasi posisi ketiga titik utama yang mempengaruhi kondisi stabilitas

### 2.2.2. Momen Penegak

Momen penegak adalah momen yang akan mengembalikan kapal ke posisi semula setelah mengalami kemiringan karena gaya dari luar dan gaya tersebut tidak bekerja lagi (Rubianto,1996).



Gambar 2.8 Momen penegak

Momen stabilitas statis =  $W \times GZ$

Dari segitiga stabilitas GZM diperoleh  $GZ = GM \sin \theta^\circ$

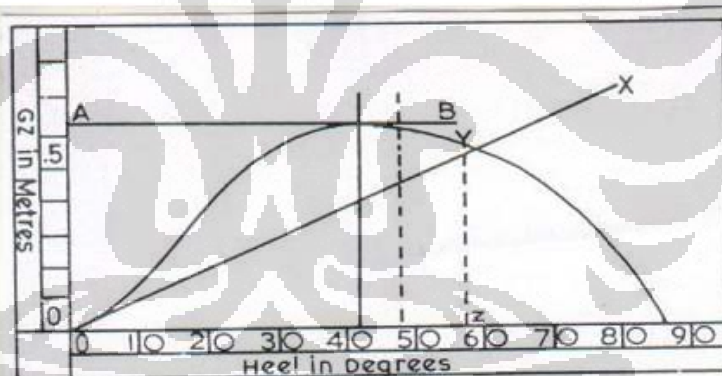
Momen stabilitas statis =  $W \times GM \times \sin \theta^\circ$

$GZ = KN - KG \sin \theta$

$GZ = GM \sin \theta$

$KG = KM - GM$

Nilai GZ merupakan bagian yang sangat penting dalam menentukan stabilitas statis kapal. Fyson (1985), menjelaskan pembahasan mengenai stabilitas statis kapal terkait erat dengan perhitungan nilai GZ atau lengan penegak pada kapal. Persyaratan dan rekomendasi untuk stabilitas berhubungan erat dengan pembahasan kurva GZ dalam arti pencegahan air masuk ke dalam kapal (Fyson 1985). Kurva GZ menunjukkan hubungan antara lengan penegak GZ pada berbagai variasi sudut kemiringan pada perubahan berat yang konstan. Menurut Derrett (1984) kurva stabilitas statis sebuah kapal memuat nilai lengan pengembali (GZ) yang dibandingkan terhadap sudut kemiringan.



Gambar 2.9 Contoh Kurva Lengan Stabilitas

Sumber: *ship stability for master and Mates edisi 5*

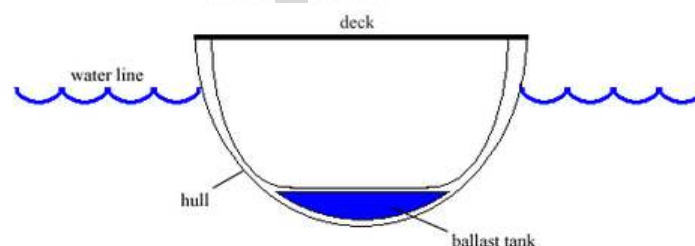
Dari kurva stabilitas statis GZ dapat diperoleh informasi mengenai kondisi beberapa kriteria stabilitas, antara lain yaitu :

- Selang stabilitas (*The range of stability*), yaitu sudut selang dimana kapal memiliki nilai GZ positif;
- The angle of vanishing stability*, yaitu sudut kemiringan dimana nilai GZ kembali nol atau sebesar sudut dimana nilai GZ berubah dari positif menjadi negative;

- c. Nilai maksimum  $GZ$  (*the maximum GZ*) merupakan nilai pada sumbu x pada puncak tertinggi pada kurva stabilitas;
- d. Tinggi metacentra (GM), pada gambar di atas ditunjukkan oleh tinggi YZ. Dimana titik Z bernilai  $1 \text{ rad } (\frac{180}{\pi})$ ; dan
- e. Area dibawah kurva menggambarkan kemampuan kapal untuk menyerap energy yang diberikan oleh angin, gelombang dan gaya eksternal lainnya.
- f. Luas di bawah kurva merupakan indikasi dari kemampuan kapal untuk kembali ke posisi semula / stabil. Semakin besar luas di bawah kurva maka semakin besar pula kemampuan kapal untuk mengatasi gaya-gaya yang membuat kapal terbalik.
- g. Lengan kopel maksimum merupakan indikasi dari kemampuan kapal untuk kembali ke posisi stabil pada sudut oleng tertinggi.

### 2.2.3. Sistem *ballast*

Sistem *ballast* adalah sebuah sistem pada sebuah kompartemen dalam perahu, kapal atau struktur apung lainnya yang menampung air. Sebuah kapal mungkin memiliki tangki *ballast* tunggal dekat pusatnya atau tangki ballast bebrapa biasanya di kedua sisi. Sebuah kapal besar biasanya akan memiliki beberapa tangki *ballast* termasuk tangki *doubel bottom*. Menambahkan pemberat untuk kapal menurunkan pusat gravitasi, dan meningkatkan rancangan kapal. Rancangan peningkatan mungkin diperlukan untuk perendaman baling-baling kapal.



Gambar 2.10: Ilustrasi tangki *ballast*

Sumber: [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)

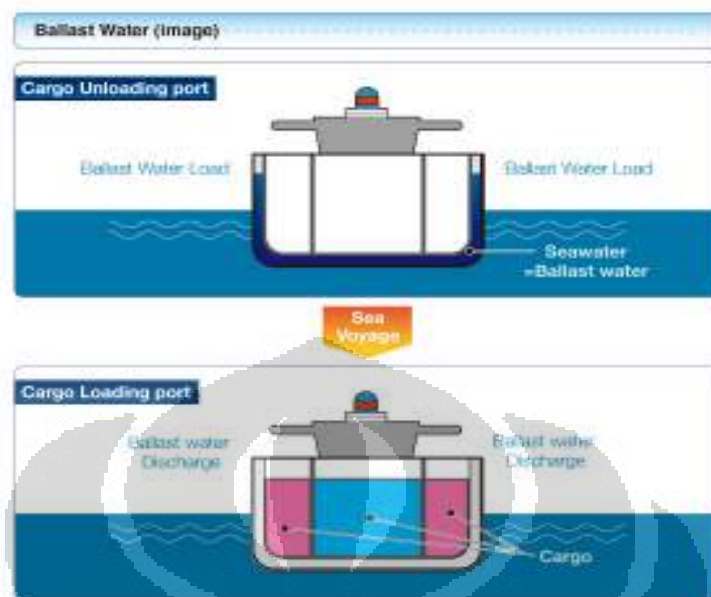
Sebuah tangki dapat pemberat dapat diisi atau dikosongkan untuk menyesuaikan jumlah gaya pemberat. Kapal dirancang untuk membawa sejumlah besar kargo harus mengambil air pemberat untuk tepat stabilitas ketika bepergian dengan beban ringan dan debit air ketika berat sarat dengan muatan. Perahu layar kecil yang dirancang untuk menjadi ringan untuk ditarik di belakang mobil di trailer sering dirancang dengan tangki ballast yang dapat dikosongkan ketika perahu akan dihapus dari air.

Dalam kapal selam tangki *ballast* digunakan untuk memungkinkan kapal untuk menyelam, air yang diambil dalam untuk mengubah kapal apung dan memungkinkan kapal selam menyelam. Ketika permukaan bawah laut, air ditiup keluar dari tangki menggunakan kompresi udara dan kapal menjadi positif apung lagi yang memungkinkan untuk naik ke permukaan. Kapal selam mungkin memiliki beberapa jenis tangki ballast: tangki ballast utama, yaitu tangki utama yang digunakan untuk menyelam dan permukaan, dan tangki pemangkasan, yang digunakan untuk mengatur sikap kapal selam ('trim' nya) baik di permukaan dan ketika bawah air.

Secara umum fungsi dari sistem *ballast* pada kapal diantaranya:

- a. Menjaga tinggi draft dan posisi kapal agar tetap aman.
- b. Sistem stabilitas kapal.

### 2.2.3.1. Sistem Ballast Pada Kapal Umum



Gambar 2.11: Sistem ballast pada kapal kargo

Pada gambar diatas menjelaskan bagaimana sistem *ballast* ini bekerja. Pada gambar yang paling atas menggambarkan kondisi kapal saat tidak memuat barang atau kargo. Air laut masih memenuhi kolom tangki *ballast* yang berfungsi sebagai pemberat saat kapal kosong untuk tetap menjaga kestabilan kapal tersebut. Pada gambar di bawahnya ketika kapal memuat barang atau kargo, air laut yang digunakan sebelumnya untuk pemberat pada tangki *ballast* dipompa ke luar. Kapal tersebut kembali ke keadaan setimbang atau stabil dengan yang menjadi pemberat adalah barang atau kargo bawaannya.

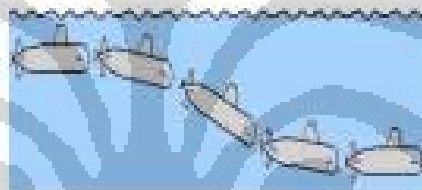
Pada sistem *ballast* ini menggunakan pompa untuk mengeluarkan dan memasukkan air ke dalam tangki *ballast*. Air dalam tangki ini berfungsi untuk pemberat kapal pada saat kosong untuk menjaga stabilitas kapal. Pada keadaan sebaliknya, saat kapal penuh muatan supaya kapal tidak tenggelam akibat ada penambahan berat maka air *ballast* dikeluarkan oleh pompa supaya daya apungnya bertambah.

Sistem *ballast* ini banyak digunakan oleh hampir semua jenis kapal kecuali kapal selam diantaranya, banyak dipakai di kapal kargo, kapal penumpang, kapal tug boat, dan lain-lain.

### 2.2.3.2. Sistem Ballast Pada Kapal Selam

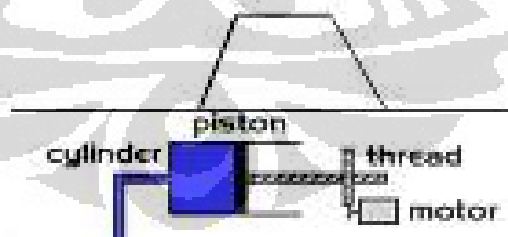
Pada dasarnya, ada dua cara untuk menenggelamkan kapal selam yaitu dengan cara menyelam secara dinamis dan statis. Banyak model kapal selam menggunakan metode statis dan dinamis saat menyelam pada umumnya digunakan oleh semua kapal selam militer. Sistem dinamis adalah sistem dengan metode penyelaman dinamis dimana kapal selam menggunakan sirip atau biasa disebut dengan hidroplane dan dibantu dengan kecepatan dari kapal selam tersebut untuk membantu pergerakan kapal selam tersebut agar dapat menyelam dan mengapung di air. Sedangkan untuk kapal selam statis yaitu memiliki proses penyelaman dengan cara mengubah berat kapal selam tersebut misalnya dengan cara mengisi tangki ballast yang bertujuan untuk melakukan pergerakan penyelaman dan untuk melakukan pergerakan mengapung dilakukan dengan memompa air dari tangki ballast.

Berikut ini adalah contoh gambar proses penyelaman secara dinamik



Gambar 2.12: Menyelam secara dinamik

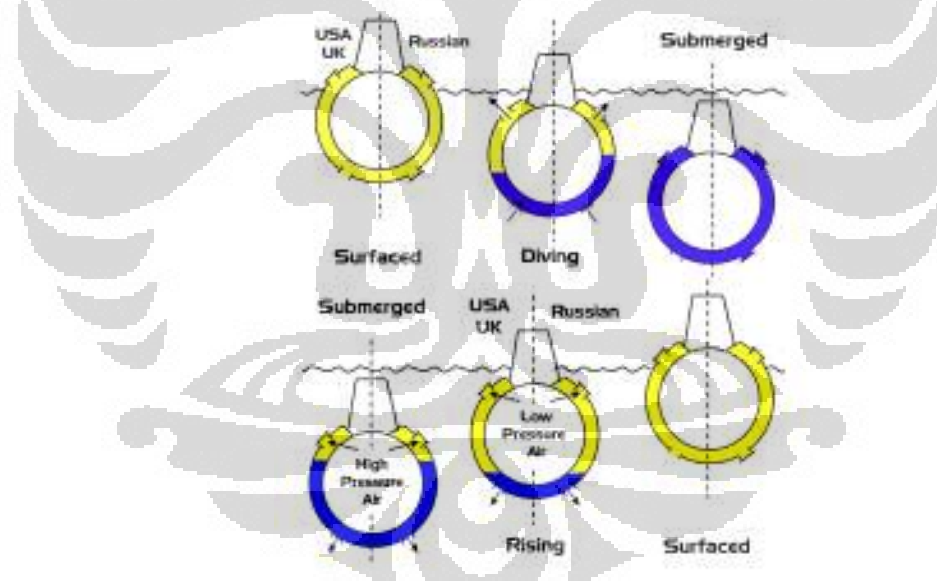
Berikut ini adalah contoh gambar proses penyelaman secara statis dengan menggunakan salah satu model sistem ballast yaitu dengan sistem piston.



Gambar 2.13: Piston *ballast* tank

*Bouyancy* adalah suatu faktor yang sangat penting di dalam penyelaman. Selama melakukan pergerakan dalam air dengan scuba, penyelam harus dapat mempertahankan posisi neutral atau dalam keadaan mengapung "Buoyancy Positif" terjadi apabila berat kapal lebih kecil dari gaya apung sehinggadapat menyebabkan kapal selam naik ke permukaan. Pada keadaan "Buoyancy Negatif" terjadi apabila berat kapal selam lebih besar dari gaya apung dan

menyebabkan kapal selam tenggelam. "Buoyancy Netral" mengacu pada kondisi di mana berat kapal selam sama dengan gaya apung, sehingga mengalami pergerakan melayang. pada posisi kapal selam dalam keadaan yang disebut dengan "daya apung netral" yaitu dimana posisi yang sangat sulit untuk didapatkan yaitu posisi dimana kapal selam saat istirahat akan naik ke permukaan atau tenggelam ke bawah. Buoyancy pada kapal selam dapat bisa diubah dengan membiarkan air ke dalam tangki ballast utama Main Ballast Tank (MBT). MBT dapat ditentukan dalam tiga cara berbeda: (a) di dalam lambung tekanan, (b) di luar hull tekanan sebagai tank tambahan, dan (c) di antara lambung luar dan tekanan lambung.. Kelemahan memiliki MBT tekanan di dalam lambung jelas: tidak memakan ruang yang lain bisa digunakan untuk peralatan, senjata, atau personel. Susunan MBT sering digunakan dan kapal selam lainnya. Kebanyakan kapal selam militer modern menggunakan ruang yang di-antara hull tekanan dalam dan luar lambung sebagai MBT.



Gambar 2.14: *Flooding Dan Blowing Dari Sistem Ballast*

Proses ini terjadi pada permukaan kapal selam, air dalam MBT dikeluarkan oleh udara bertekanan. Ketika kapal selam ini tenggelam, air dipaksa keluar dengan menggunakan udara bertekanan tinggi untuk mengatasi yang diakibatkan oleh tekanan air. Setelah kapal sudah dekat permukaan, yang bertuip dari hasil yang MBT dengan tekanan udara rendah. Setelah di permukaan, perahu



menutup dan kemudian membuka lubang utama kemudian katup menyamakan tekanan udara di MBT dengan atmosfer.

Prinsip kerja sistem ballast ini adalah mengalirkan udara bebas kedalam tabung melalui saluran udara dan dimana udara tadi terperangkap tidak dapat keluar yang nantinya tabung tersebut dipenuhi oleh udara bertekanan tinggi yang menyebabkan posisi wahana bawah air tanpa awak akan tenggelam. Dan untuk mengembalikan posisi wahana bawah air atau bergerak keatas mendekati permukaan udara dalam tabung tersebut dikeluarkan melalui saluran pipa keluaran udara ke tabung yang berukuran lebih besar ini dimaksudkan agar udara mampu mengangkat wahana bawah air ke permukaan. Sistem ini sesuai dengan hukum Archimedes yang menyatakan bahwa udara akan mengalir dari tempat yang bertekanan tinggi menuju ketempat yang bertekanan rendah.

### 2.3. Kompresor dan Konsep Udara Tekan

Kompresor dalam bahasa Inggris berarti pemampat, mengubah ukuran dari besar ke kecil dengan cara menekan. Lawan katanya adalah expander yang berarti pengembang. Karena kerjanya sebagai pemampat, maka material yang bisa dimampatkan harus kompresibel atau berbentuk gas. Material *liquid* seperti air dan minyak tergolong inkompresibel, tidak bisa dimampatkan.

Kompresor juga merupakan salah satu cara untuk mengkonversi energi dengan cara memampatkan udara sekitar untuk berbagai keperluan manusia. Kompresor adalah peralatan mekanik yang digunakan untuk memberikan energi kepada fluida gas/udara, sehingga gas/udara dapat mengalir dari suatu tempat ke tempat lain secara kontinyu.

Sedangkan kompresor sentrifugal, termasuk dalam kelompok kompresor dinamik adalah kompresor dengan prinsip kerja mengkonversikan energi kecepatan gas/udara yang dibangkitkan oleh aksi/gerakan impeller yang berputar dari energi mekanik unit penggerak menjadi energi potensial (tekanan) di dalam diffuser.

Karakteristik kompresor sentrifugal secara umum sebagai berikut :

- Aliran discharge uniform.
- Kapasitas tersedia dari kecil sampai besar.

- Tekanan discharge dipengaruhi oleh density gas/udara.
- Mampu memberikan unjuk kerja pada efisiensi yang tinggi dengan beroperasi pada range tekanan dan kapasitas yang besar.

Kompresor terdiri dari beberapa bagian yang fungsinya satu dengan yang lain saling berhubungan, diantaranya adalah :

a. Bagian Statis

- 1) *Casing*
- 2) *Inlet wall*
- 3) *Guide vane*
- 4) *Eye seal*
- 5) *Diffuser*
- 6) *Labirinth seal*
- 7) *Return bend*
- 8) *Return channel*
- 9) *Diafragma*

b. Bagian Dinamis

- 1) *Shaft and Shaft Sleeve*
- 2) *Impeller*
- 3) *Bantalan (Bearing)*
- 4) *Oil Film Seal*

Konstruksi kompresor sentrifugal sama dengan pompa sentrifugal. Fluida masuki impeller yang berputar yang kemudiandilemparkan ke arah luar impeller dengan gaya sentrifugal. Sudu-sudu impeller meninggikan putaran dan bangkitkan tekanan. Dari impeller ini gas mengalir kesudu-sudu penghambur ke ruang spiral (*volute*), dimana sejumlah energi kinetik dirubah menjadi tekanan. Kompresor ini dapat dibuat dengan satu roda biladiinginkan perbandingan tekanan yang rendah. Walaupun mesin-mesin bertingkatganda, kompresor ini bekerja dengan kompresi adiabatik, dengan efisiensiantara 70 % sampai 80 %.

## 2.4. Kapal Keruk

### 2.4.1. Pengerukan

Pengerukan (bahasa Inggris: Dredging) berasal dari kata dasar keruk (dredge), menurut kamus berarti proses, cara, perbuatan mengeruk. Sedangkan definisi pengerukan menurut Asosiasi Internasional Perusahaan Pengerukan adalah mengambil tanah atau material dari lokasi di dasar air, biasanya perairan dangkal seperti danau, sungai, muara ataupun laut dangkal, dan memindahkan atau membuangnya ke lokasi lain.

Untuk melakukan pengerukan biasanya digunakan kapal keruk yang memiliki alat-alat khusus sesuai dengan kondisi di areal yang akan dikeruk, seperti:

- Kondisi dasar air (berbatu, pasir, dan lain-lain).
- Areal yang akan dikeruk (sungai, danau, muara, laut dangkal, dan lain-lain).
- Peraturan atau hal-hal yang diminta oleh pemerintah lokal ataupun oleh pihak yang meminta dilakukan pengerukan.

Efisiensi pengerukan ditentukan dengan menilai harga pekerjaan yang memperhitungkan berbagai faktor diantaranya yaitu:

- a. Jenis pekerjaan yang akan dilaksanakan.
- b. Tipe kapal yang digunakan.
- c. Lokasi pekerjaan.
- d. Jenis material.
- e. Jarak buang atau jarak deposit.
- f. Volume pekerjaan.

Pengerukan utamanya terdiri dari 3 tahap

- 1) Memisahkan dan mengambil material dari dasar air dengan menggunakan:

- Pengikisan (*erosion*).
- Memancarkan air tekanan tinggi (*jetting*).
- Memotong (*cutting*).
- Menghisap (*suction*).
- Memecah (*breaking*).

- Mengambil dengan menggunakan *bucket (grabbing)*.
- 2) Mengangkut material dengan menggunakan:
- Tongkang (*barges*)
  - Tongkang atau kapal yang didesain secara khusus memiliki wadah penampung (*hoppers*)
  - pipa terapung / *floating pipeline*
  - *conveyor-belt*
  - Truk
- 3) Pembuangan material tersebut dengan menggunakan:
- Pembuangan pipa (*pipeline discharge*).
  - Alat angkat seperti *crane*.
  - Membuka pintu di bawah pada beberapa kapal atau tongkang yang didesain secara khusus (*hopper barges*).

#### 2.4.2. Jenis- Jenis Kapal Keruk

Kapal keruk atau dalam bahasa Inggris sering disebut *dredger* merupakan kapal yang memiliki peralatan khusus untuk melakukan pengerukan. Kapal ini dibuat untuk memenuhi kebutuhan, baik dari suatu pelabuhan, alur pelayaran, ataupun industri lepas pantai, agar dapat bekerja sebagaimana halnya alat-alat *levelling* yang ada di darat seperti *excavator* dan *buldoser*.

Soekarsono (1994) dalam bukunya *Perencanaan Kapal* menjelaskan bahwa berdasarkan alat penggerak kapal keruk ini dapat digolongkan menjadi:

a. *Self propelled*

Kapal keruk ini mempunyai alat penggerak sendiri.

b. *Non- Self propelled*

Kapal keruk ini tidak mempunyai alat penggerak sendiri.

Berdasarkan pembuangan hasil kerukannya dibedakan menjadi :

- a. Kapal keruk yang mempunyai tempat pembuangan di tempat sendiri atau masih pada kapal tersebut.
- b. Kapal keruk yang tidak mempunyai tempat pembuangan sendiri. Kapal ini menggunakan kapal tongkang untuk menampung hasil kerukannya atau langsung dibuang melalui pipa.

Faktor yang menentukan untuk pemilihan kapal keruk untuk pekerjaan pengerukan diantaranya yaitu:

- a. Lokasi yang akan dikeruk.
- b. Data survey berupa lebar alur, kedalaman, jenis material yang akan dikeruk, dan jarak buang.
- c. Target kedalaman yang diinginkan.
- d. Kondisi *traffic* disekitar lokasi.

Berdasarkan alat keruknya kapal keruk dapat digolongkan menjadi :

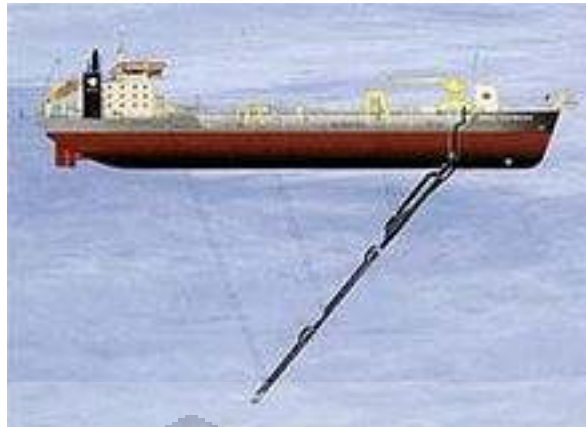
**a. Kapal keruk penghisap / *Suction dredgers***

Kapal keruk ini beroperasi seperti *vacuum cleaner* dengan menghisap material melalui pipa panjang. Kebanyakan pompa yang dipakai untuk mengeruk atau mengambil material pada kapal jenis ini adalah pompa sentrifugal. Hasil kerukannya tersebut, bisa dimasukkan ke dalam ruang lumpur (*Hopper*) atau dimasukkan ke dalam pipa pembuangan. Jenis ini terdiri dari beberapa tipe, diantaranya:

a.1. *Trailing suction hopper dredger*

Sebuah *trailing suction hopper dredger* atau TSHD menyeret pipa penghisap ketika bekerja, dan mengisi material yang diisap tersebut ke satu atau beberapa penampung (*hopper*) di dalam kapal. Ketika penampung sudah penuh, TSHD akan berlayar ke lokasi pembuangan dan membuang material tersebut melalui pintu yang ada di bawah kapal atau dapat pula memompa material tersebut ke luar kapal.

Kapal keruk ini dapat mengeruk sangat dalam dan efektif untuk pasir dan kerikil. Namun hasil kerukannya sempit tapi dalam sehingga kurang cocok untuk alur pelayaran dan pelabuhan. Kapal jenis ini dapat berjalan sendiri (*self propelled*) dan dapat stabil. Kapal jenis ini yang modern sering di pasang *Water Jet* pada bagian bawah dari pada pipa hisapnya. Tujuan pemasangan *Water Jet* ini adalah untuk menghancurkan material sebelum masuk ke pompa.



Gambar 2.15: Trailing suction hopper dredger

Sumber: [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)

#### a.2. *Cutter-suction dredger*

Di sebuah *cutter-suction dredger* atau CSD, tabung penghisap memiliki kepala pemotong di pintu masuk penghisap. Alat pemotong material yang disebut *cutter* ini digerakkan oleh motor dan material yang telah terpotong kemudian dihisap dengan pompa melalui pipa hisap dan kemudian dibuang. Pemotong dapat pula digunakan untuk material keras seperti kerikil atau batu. Material yang dikeruk biasanya diisap oleh pompa penghisap sentrifugal dan dikeluarkan melalui pipa atau ke tongkang.

*Cutter* yang digunakan pada kapal jenis ini dipasang pada ujung *ladder* dan digerakkan oleh motor *cutter*. Ukuran *cutter* bermacam-macam, demikian beratnya, berat *cutter* bisa mencapai 40 ton dan berdiameter 3.5 meter. Tenaga *cutter* tergantung dari ukuran dan kegunaan dari pada kapa keruk. Untuk kapal kecil bisa tenaganya bisa mencapai 400 HP dan untuk kapal besar bisa mencapai 4000 HP dan kecepatan putat *cutter* 10-30 rpm.

*Ladder* pada kapal ini berguna untuk membawa *suction pipe*, *cutter*, poros *cutter* dan motor *cutter*. *Ladder* diletakkan di bagian depan dan digerakkan naik/turun dengan bantuan alat *A&H frame*. Kedalaman pengerukan dari panjang *ladder* dan diukur pada saat membuat sudut  $45^{\circ}$  pada arah horizontal dengan permukaan air dan diperkirakan mencapai

panjang 0,7 dari panjang *ladder* itu sendiri. Panjang *ladder* 25-150 feet atau lebih dan berat *ladder* biasa mencapai 400 ton.

*Suction pipe* pada kapal ini berguna untuk membawa material dari *cutter* ke dalam pompa. Diameter pipa tergantung dari kapasitas pompa hisap minimal dan ukurannya bisa mencapai 25 inch. Ukuran *suction pipe* kira-kira mencapai 1,25- 1,5 kali diameter pipa buangnya (*discharge pipe*).

CSD memiliki dua buah *spud can* di bagian belakang serta dua jangkar di bagian depan kiri dan kanan. *Spud can* berguna sebagai poros bergerak CSD, dua jangkar untuk menarik ke kiri dan kanan.



Gambar 2.16: *Cutter-suction dredger*

Sumber: [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)

Kapal keruk jenis ini sekarang banyak digunakan di dunia dan mempunyai pipa buang yang mempunyai ukuran diameter mencapai 24 inch ( 60 cm) dan dapat mengeruk 25-30 secara efektif.

#### b. Kapal keruk timba (*Bucket dredger*)

Bucket dredger adalah jenis tertua dari suatu kapal keruk. Biasanya dilengkapi dengan beberapa alat seperti timba / bucket yang bergerak secara simultan untuk mengangkat sedimen dari dasar air. Kapal keruk ini dioperasikan dengan bantuan derek yang dioperasikan di atas tongkang. Kapal ini sangat efektif bekerja di daerah dok, dermaga atau daerah yang tertutup tanpa merusak konstruksi disekitarnya. Tinggi dari kapal ini tak terbatas hanya dibatasi oleh panjang tali pengangkatnya, tetapi kedalaman dari pada pengerukan mempengaruhi produksi, lebih dalam perairan yang dikeruk produksinya akan berkeurang sebab waktu untuk mengangkat lebih lama. Pengerykannya juga tergantung berat *bucket*.

Beberapa Bucket dredger dan Grab dredger cukup kuat untuk mengeruk dan mengangkat karang agar dapat membuat alur pelayaran. Namun produktifitasnya rendah dan boros bahan bakar.

**c. *Backhoe/dipper dredge***

*Backhoe/dipper dredge* memiliki sebuah *backhoe* seperti *excavator*. Backhoe dredger dapat pula menggunakan *excavator* untuk darat, diletakkan di atas tongkang. Biasanya *backhoe dredger* ini memiliki tiga buah *spudcan*, yaitu tiang yang berguna sebagai pengganti jangkar agar kapal tidak bergerak, dan pada *backhoe dredger* yang memiliki teknologi canggih, hanya memerlukan satu orang untuk mengoperasikannya.



Gambar 2.17: *Backhoe/dipper dredge*

Sumber: [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)

Gerakan pengerukannya maju ke depan namun kedalaman pengerukan terbatas pada kedalaman (15-20) feet. *Dipper* besar sangat efektif dalam produksi dan biaya. Kelancaran pengerjaan sangat dipengaruhi pasang surut air laut. Sehingga prosedur operasi harus dilakukan dengan benar.

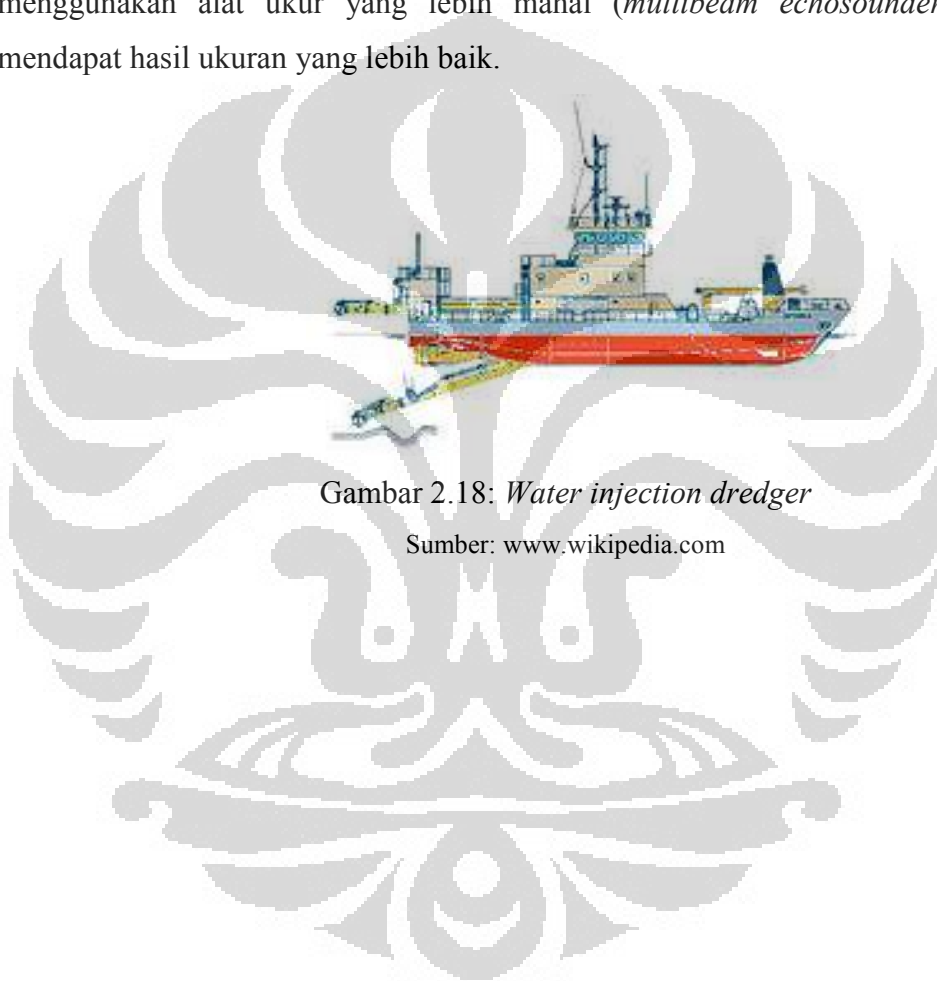
**d. *Water injection dredger***

*Water injection dredger* menembakkan air di dalam sebuah jet kecil bertekanan rendah (tekanan rendah karena material seharusnya tidak bertebaran kemanapun, karena harus secara hati-hati agar material dapat dipindah) ke sedimen di dasar air agar air dapat mengikat sedimen sehingga melayang di air,



selanjutnya didorong oleh arus dan gaya berat ke luar dari lokasi pengerukan. Biasanya digunakan untuk *maintenance dredging* di pelabuhan. Beberapa pihak menyatakan bahwa WID adalah bukan pengerukan sementara pihak lain menyatakan sebaliknya.

Hal ini terjadi karena pengukuran yang seksama harus dibuat untuk mengukur kedalaman air, sedangkan beberapa alat ukur untuk itu (seperti *single beam echosounder*) kesulitan untuk mendapat hasil yang akurat dan harus menggunakan alat ukur yang lebih mahal (*multibeam echosounder*) untuk mendapat hasil ukuran yang lebih baik.



Gambar 2.18: *Water injection dredger*

Sumber: [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)

**BAB 3**  
**DISAIN SISTEM *BALLAST* UDARA BERTEKANAN PADA KAPAL  
KERUK *CUTTER SUCTION DREDGER***

**5.1. Kapal Keruk *Cutter Suction Dredger***

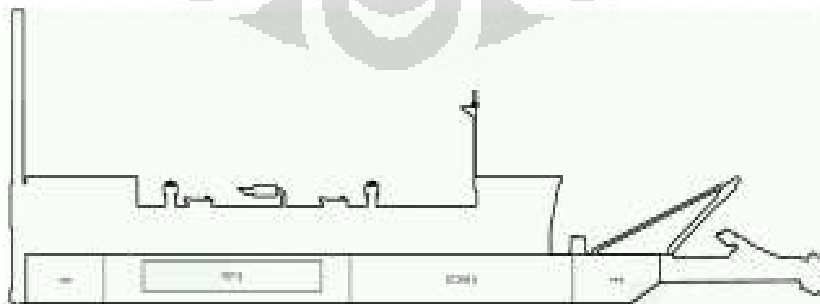
Kapal keruk merupakan salah satu kapal kerja yang diantaranya berfungsi untuk mengeruk material-material yang berada didasar sungai, sebagai contoh mengeruk lumpur sungai akibat endapan-endapan. Seperti yang telah dijelaskan pada bab dua, tipe kapal ini adalah memiliki alat pemotong dan penghisap. Alat pemotong ini menghancurkan material-material yang keras kemudian dicampur dengan air kemudian dihisap oleh alat penghisap.

**5.1.1. Data Kapal Keruk**

Berikut adalah tabel dimensi utama kapal

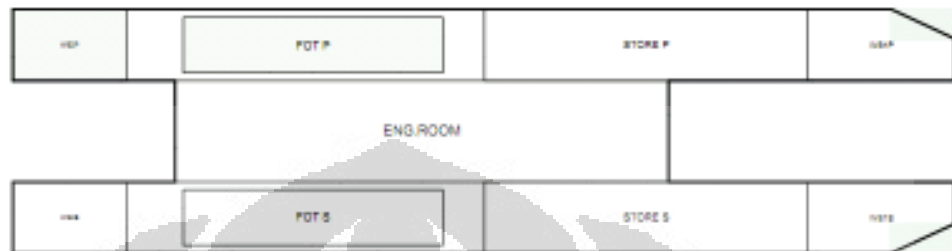
Tabel 3.1 Dimensi Utama Kapal Keruk *Cutter Suction Dredger*

Main Dimensions		
Length Overall	23,220	metres
Length B.P	23,220	metres
Length W.L.	23,220	metres
Breadth .	6,000	metres
Depth	1,500	metres
Draft	1,000	metres
Displacement at Load Draft	109,000	tonnes
Lightship Weight	91,000	tonnes
Deadweight at Load Draft	18,000	tonnes



Gambar 3.1 Pandangan Depan Kapal Keruk

Diatas adalah gambar pandangan depan kapal tersebut. Dibagian depan terdapat alat pengeruk CSD dan dibagian belakang ada dua buah spud untuk membantu pergerakan kapal keruk ini karena tidak memiliki sistim penggerak atau propeler.



Gambar 3.2 *Compartment Particulars*

Pada gambar diatas menggambarkan bahwa kapal ini memiliki beberapa kompartemen-kompartemen. Kapal ini memiliki tiga buah ponton di sisi kiri-kanannya dan di bagian tengah yang terdapat beberapa alat kerja seperti mesin penghisap dan mesin utama.

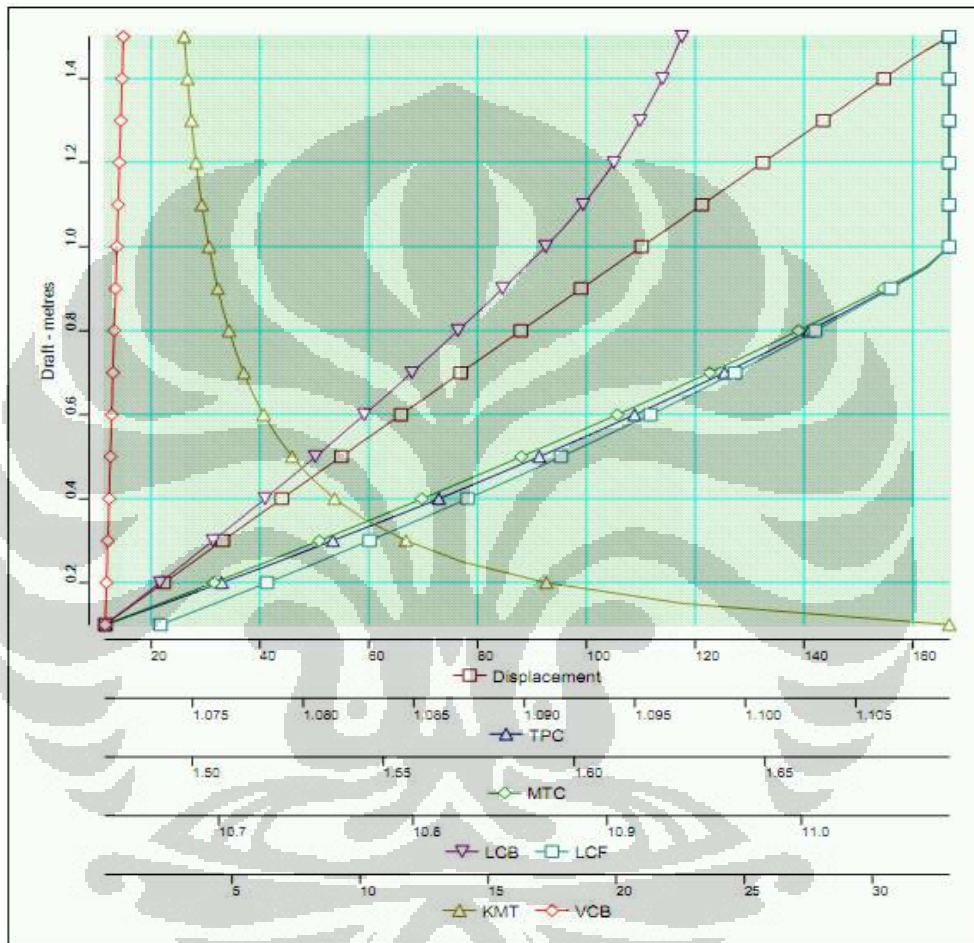
Tabel 3.2 *Compartment Particulars*

Compartment	Volume(m <sup>3</sup> )	LCG(m)	TCG (m)	VCG(m)
ENG.ROOM	38,600	10,080	0,000	0,750
FO COMP. P A	19,460	7,810	-2,122	0,750
FO COMP. S A	19,460	7,810	2,122	0,750
FO.COM.P	11,890	8,071	-2,122	0,686
FO.COM.P.S	11,890	8,071	2,122	0,686
FOT P	7,570	7,400	-2,122	0,850
FOT S	7,570	7,400	2,122	0,850
STORE P	17,860	15,610	-2,122	0,750
STORE S	17,860	15,610	2,122	0,750
WB1P	7,460	21,109	-2,081	0,806
WB1S	7,460	21,109	2,081	0,806
WB2P	7,150	1,400	-2,123	0,750
WB2S	7,150	1,400	2,123	0,750
<b>Total</b>	<b>181,380</b>	<b>10,418</b>	<b>0,000</b>	<b>0,755</b>

### 5.1.2. Perhitungan Stabilitas

Pada perhitungan stabilitas ini diambil dari dokumen perusahaan sehingga peneliti menggunakan data tersebut untuk menentukan perencanaan sistem ballast yang akan dipakai pada kapal ini.

#### 5.1.2.1. Perhitungan Hidrostatik



Grafik 3.1: Kurva hidrostatik

Untuk tabel hidrostatik penulis menyajikan di lampiran. Kurva hidrostatik sering juga disebut juga diagram carena, yaitu diagram dari besaran-besaran kapal dibawah garis air maksimum. Jadi pada diagram carena dapat dibaca semua karakteristik kapal di bawah garis air maksimum. Tujuannya adalah mencocokkan nilai dimensi utama dari perhitungan gambar rencana garis dengan dimensi utama hasil teori rancangan.

### 5.1.2.2. Lightweight

Selanjutnya penulis menyajikan keadaan kapal saat kosong.

Tabel 3.3: Kondisi berat kapal dalam keadaan kosong

Item	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)	Aft ext. (m)	Fwd ext. (m)
Hull	57,370	10,280	0,000	1,160	0,000	0,000	23,220
C18 Genset	1,900	6,800	0,000	1,500	0,000	5,600	8,000
C18 + pump+gearbox	2,500	12,400	0,000	1,500	0,000	10,400	15,200
Ladder + motor	6,800	23,220	0,000	1,000	0,000	16,000	28,640
Spud	6,000	-0,200	0,000	6,000	0,000	-0,400	0,000
Aft. Winch	1,000	1,500	0,000	1,700	0,000	1,000	2,000
Fwd winch	3,000	20,000	0,000	1,700	0,000	19,600	20,400
A frame	0,500	24,500	0,000	2,700	0,000	19,600	25,580
Other equipment	4,000	12,000	0,000	1,500	0,000	0,000	23,220
Outfitting	2,000	12,000	0,000	1,500	0,000	0,000	23,220
FOT structure	4,000	7,400	0,000	0,850	0,000	4,200	10,600
<b>Total</b>	<b>91,070</b>	<b>10,613</b>	<b>0,000</b>	<b>1,541</b>	<b>0,000</b>		

Dilihat dari tabel di atas diuraikan bagian-bagian yang mempengaruhi berat kapal saat kapal dalam kondisi kosong tidak beroperasi.

Tabel 3.4: Stabilitas kapal saat *crane* tidak beroperasi

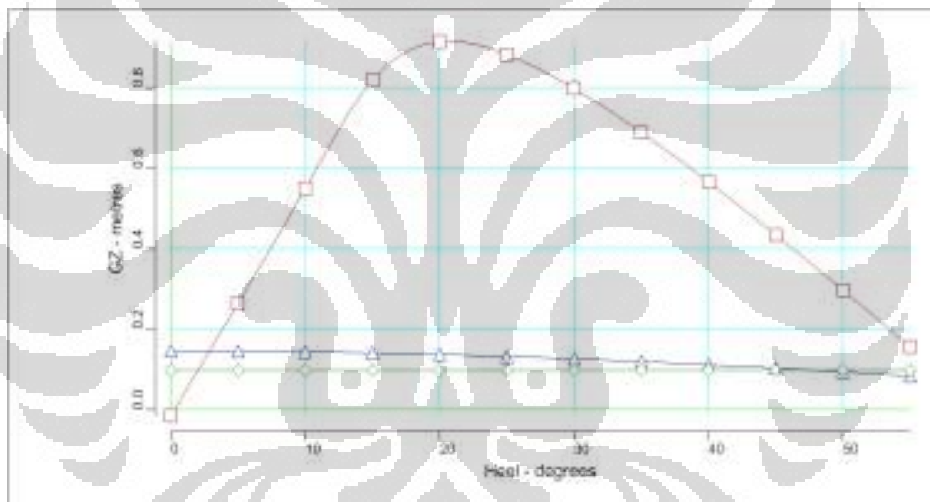
Title	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
<i>Crane at Rest Operation</i>					
Crane in Rest Position	0,90	14,40	1,58	3,90	0,00
<b>Total Crane at Rest Operation</b>	<b>0,90</b>	<b>14,40</b>	<b>1,58</b>	<b>3,90</b>	<b>0,00</b>
Lightweight	91,10	10,61	0,00	1,54	0,00
Deadweight	0,90	14,40	1,57	3,90	0,00
<b>Total Displacement</b>	<b>92,00</b>	<b>10,65</b>	<b>0,02</b>	<b>1,56</b>	<b>0,00</b>
Buoyancy	91,90	10,65	0,02	0,42	393,70
<b>Total Buoyancy</b>	<b>91,90</b>	<b>10,65</b>	<b>0,02</b>	<b>0,42</b>	<b>393,70</b>

Tabel di atas menjelaskan stabilitas kapal saat crane tidak sedang beroperasi saat kapal dalam kondisi kosong. Tabel ini memuat total berat crane

saat tidak beroperasi, total *displacement* dan *total buoyancy*. Berikut ini akan disajikan tabel yang menggambarkan kondisi draft kapal pada sudut keseimbangan.

Tabel 3.5 Draft pada sudut keseimbangan

	Moulded	Extreme	
Draft at LCF	0,836	0,844	metres
Draft aft at marks	0,884	0,892	metres
Draft fwd at marks	0,782	0,79	metres
Draft at AP	0,884	0,892	metres
Draft at FP	0,782	0,79	metres
Mean draft at midships	0,833	0,841	metres



Grafik 3.2: *Light weight*

Tabel 3.6: *Pontoon crane*

#	Criterion	Actual Value	Critical Value
1	Area under GZ curve up to Max GZ > 0.08	0,194	0,08
2	Range of Stability >= 20 Degree	0.055	0.020
3	Lifting of heavy weights : Max. heel angle 15	0	0.015
4	Lifting of heavy weights :	0	0,6

	GZc/GZmax $\leq$ 0.6		
5	Lifting of heavy weights : Area A => 0.4 of total area	0.001	0,4
6	IMO Weather Criterion ( Maximum Initial Angle Of Heel )	0.001	0.016

Tabel diatas menggambarkan kondisi ponton saat tidak beroperasi dan setelah dilakukan perhitungan semua kondisi sesuai dan memenuhi regulasi yang berlaku.

### 5.1.2.3. 10% Consumable

Tabel 3.7: Kondisi Kapal Pada 10% Consumable

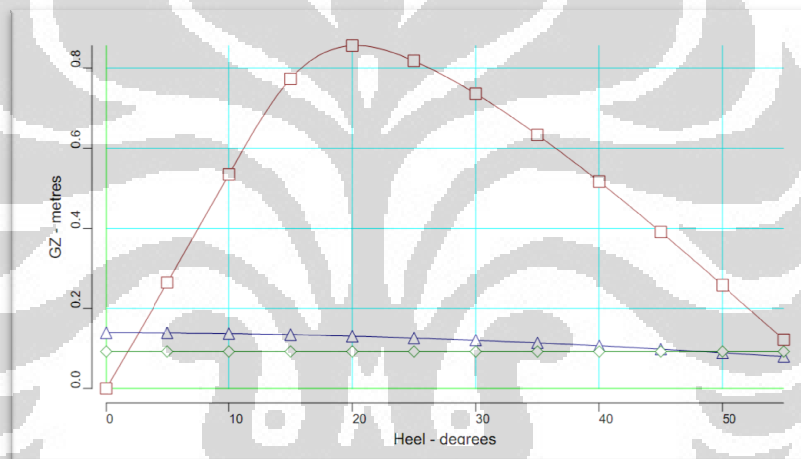
Title	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
<i>10% Consumable</i>								
FOT P: FOT P	FO	10,00	0,85	0,60	7,40	-2,12	0,45	1,10
FOT S: FOT S	FO	10,00	0,85	0,60	7,40	2,12	0,45	1,10
WB1P: WB1P	FW	22,50	1,00	1,70	20,79	-2,12	0,22	1,30
WB1S: WB1S	FW	10,00	1,00	0,70	20,70	2,12	0,10	1,30
<b>Total 10% Consumable</b>				<b>3,70</b>	<b>16,13</b>	<b>-0,53</b>	<b>0,27</b>	<b>4,80</b>
<i>day &amp; set tk.</i>								
day & set. tk.				0,60	12,94	0,89	2,50	0,00
<b>Total day &amp; set tk.</b>				<b>0,60</b>	<b>12,94</b>	<b>0,89</b>	<b>2,50</b>	<b>0,00</b>
<i>Crane at Rest Operation</i>								
Crane in Rest Position				0,90	14,40	1,58	3,90	0,00
<b>Total Crane at Rest Operation</b>				<b>0,90</b>	<b>14,40</b>	<b>1,58</b>	<b>3,90</b>	<b>0,00</b>
<b>Lightweight</b>				<b>91,10</b>	<b>10,61</b>	<b>0,00</b>	<b>1,54</b>	<b>0,00</b>
<b>Deadweight</b>				<b>5,20</b>	<b>15,46</b>	<b>0,00</b>	<b>1,16</b>	<b>4,80</b>
<b>Total Displacement</b>				<b>96,30</b>	<b>10,88</b>	<b>0,00</b>	<b>1,52</b>	<b>4,80</b>
<b>Buoyancy</b>				<b>96,30</b>	<b>10,88</b>	<b>0,00</b>	<b>0,44</b>	<b>395,00</b>
<b>Total Buoyancy</b>				<b>96,30</b>	<b>10,88</b>	<b>0,00</b>	<b>0,44</b>	<b>395,00</b>

Pada perhitungan kondisi kedua yakni kapal pada kondisi 10 % *Consumable*, tangki-tangki *ballast* mulai terisi namun kondisi crane atau alat

keruk belum beroperasi. Setelah tangki *ballast* terisi sebagian nilai *buoyancy* kapal bertambah. Kemudian pada perhitungan draft di sudut keseimbangan pun berbeda.

Tabel 3.8: Draft pada sudut keseimbangan

	Moulded	Extreme	
Draft at LCF	0,875	0,883	metres
Draft aft at marks	0,865	0,873	metres
Draft fwd at marks	0,886	0,894	metres
Draft at AP	0,865	0,873	metres
Draft at FP	0,886	0,894	metres
Mean draft at midships	0,875	0,883	metres



Grafik 3.3: 10% Consumable

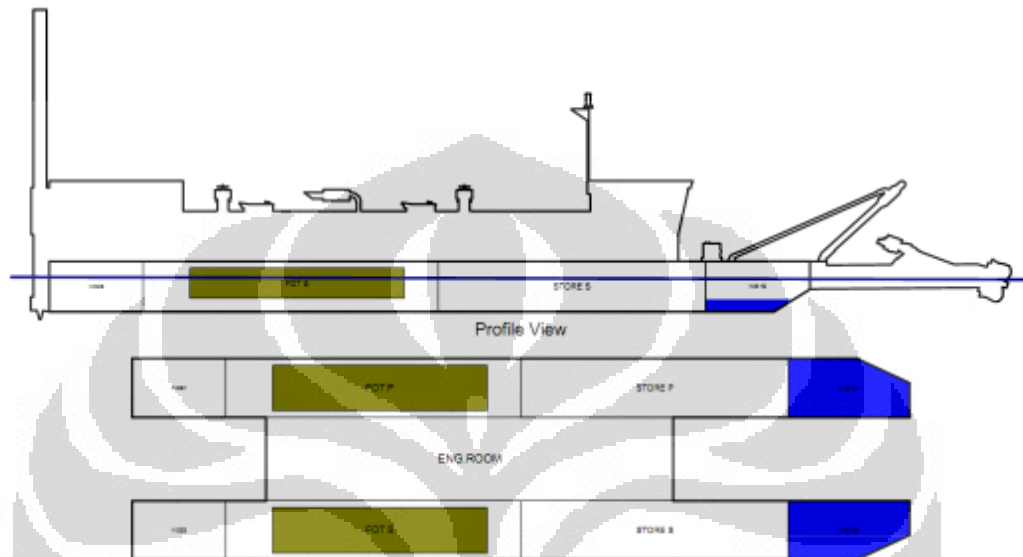
Tabel 3.9 Pontoon Crane

#	Criterion	Actual	Critical
		Value	Value
1	Area under GZ curve up to Max GZ > 0.08	0,18	0,08
2	Range of Stability $\geq$ 20 Degree	55,00	20,00
3	Lifting of heavy weights : Max. Heel angle 15	0,00	15,00
4	Lifting of heavy weights : $GZ_c/GZ_{max} \leq 0.6$	0,00	0,60
5	Lifting of heavy weights : Area A $\Rightarrow$ 0.4 of total area	1,00	0,40
6	IMO Weather Criterion (Maximum Initial Angle Of Heel )	1,18	16,00



Tabel diatas menggambarkan kondisi ponton saat tidak beroperasi dan setelah dilakukan perhitungan semua kondisi sesuai dan memenuhi regulasi yang berlaku.

#### 5.1.2.4. Full Consumable



Gambar 3.3 Kondisi kapal saat *full consumable*

Gambar 3.3 menjelaskan bahwa kondisi kapal saat mengkonsumsi penuh sehingga tangki-tangki untuk bahan bakar dan tangki *ballast* depan penuh. Sehingga perlu diperhitungkan bahwa adanya perubahan yang akan terjadi ketika bahan bakar tersebut dipergunakan untuk operasi dan volme air yang akan digunakan untuk mengisi tangki *ballast*.

Tabel 3.10 Kondisi Kapal Pada *Full Consumable*

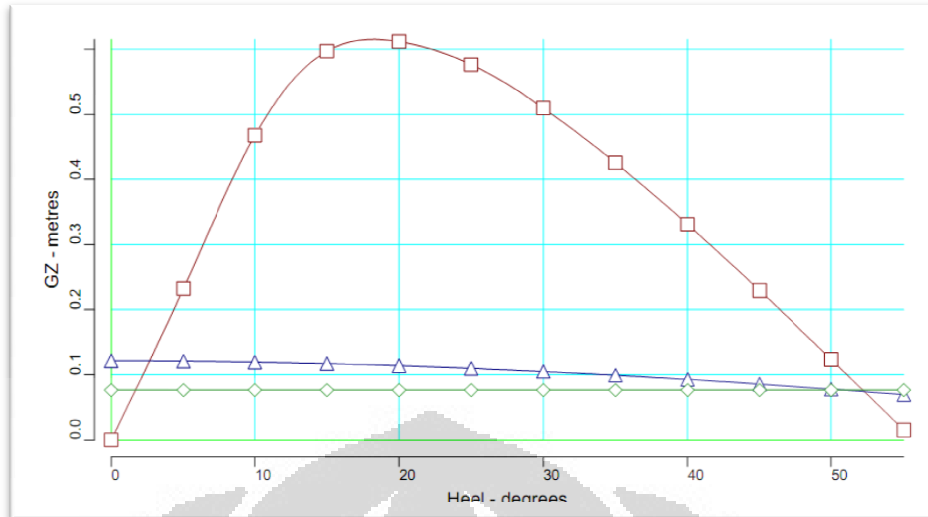
Title	Cargo	% full	SG (t/m <sup>3</sup> )	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
<i>Full Consumable</i>								
FOT P: FOT P	FO	97,0	0,85	6,2	7,40	-2,12	0,84	1,1
FOT S: FOT S	FO	97,0	0,85	6,2	7,40	2,12	0,84	1,1
WB1P: WB1P	FW	32,0	1,00	2,4	20,85	-2,11	0,30	1,3
WB1S: WB1S	FW	19,5	1,00	1,5	20,77	2,12	0,19	1,3
<b>Total Full Consumable</b>				<b>16,3</b>	<b>10,56</b>	<b>-0,12</b>	<b>0,70</b>	<b>4,8</b>
<i>day &amp; set tk.</i>								

day & set. tk.				0,6	12,94	0,89	2,50	0,0
<b>Total day &amp; set tk.</b>				<b>0,6</b>	<b>12,94</b>	<b>0,89</b>	<b>2,50</b>	<b>0,0</b>
<i>Crane at Rest Operation</i>								
Crane in Rest Position				0,9	14,40	1,58	3,90	0,0
<b>Total Crane at Rest Operation</b>				<b>0,9</b>	<b>14,40</b>	<b>1,58</b>	<b>3,90</b>	<b>0,0</b>
<b>Lightweight</b>				<b>91,1</b>	<b>10,61</b>	<b>0,00</b>	<b>1,54</b>	<b>0,0</b>
<b>Deadweight</b>				<b>17,8</b>	<b>10,83</b>	<b>0,00</b>	<b>0,92</b>	<b>4,8</b>
<b>Total Displacement</b>				<b>108,9</b>	<b>10,65</b>	<b>0,00</b>	<b>1,44</b>	<b>4,8</b>
<b>Buoyancy</b>				<b>110,3</b>	<b>10,79</b>	<b>0,00</b>	<b>0,50</b>	<b>395,9</b>
<b>Total Buoyancy</b>				<b>110,3</b>	<b>10,79</b>	<b>0,00</b>	<b>0,50</b>	<b>395,9</b>

Pada perhitungan kondisi ketiga yakni kapal pada kondisi *Full Consumable*, tangki-tangki *ballast* terisi penuh namun kondisi crane atau alat keruk belum beroperasi. Setelah tangki *ballast* terisi sebagian nilai buoyancy kapal bertambah. Kemudian pada perhitungan draft di sudut keseimbangan pun berbeda.

Tabel 3.11: Drafts Pada sudut keseimbangan

	Moulded	Extreme	
Draft at LCF	1,001	1,009	metres
Draft aft at marks	1,026	1,034	metres
Draft fwd at marks	0,974	0,982	metres
Draft at AP	1,026	1,034	metres
Draft at FP	0,974	0,982	metres
Mean draft at midships	1,000	1,008	metres



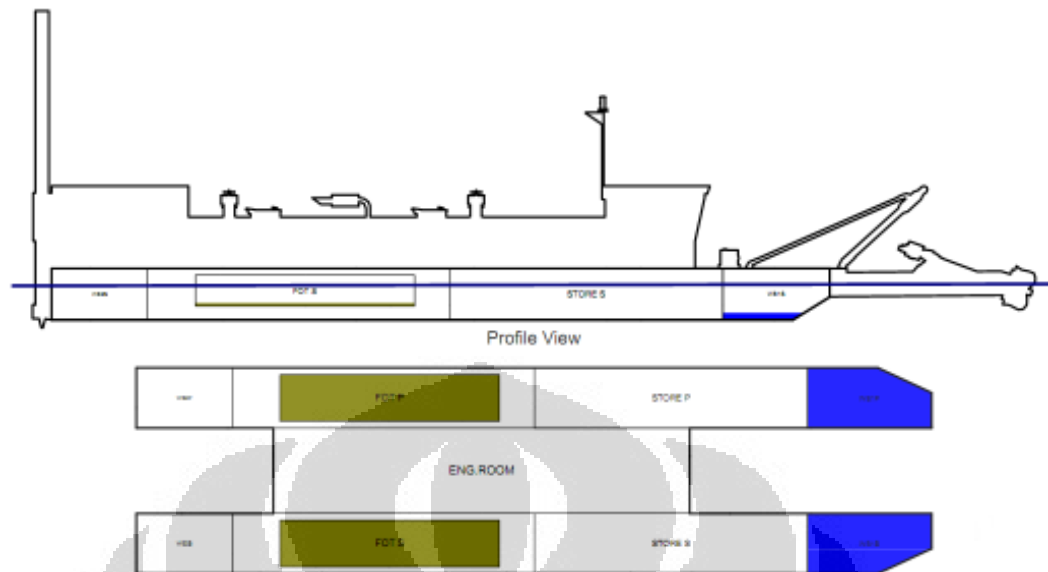
Grafik 3.4 Full Consummable

Tabel 3.12: Pontoon Crane

#	Criterion	Actual Value	Critical Value
1	Area under GZ curve up to Max GZ > 0.08	0,124	0,08
2	Range of Stability >= 20 Degree	0.055	0.020
3	Lifting of heavy weights : Max. Heel angle 15	0	0.015
4	Lifting of heavy weights : GZc/GZmax <= 0.6	0	0,6
5	Lifting of heavy weights : Area A => 0.4 of total area	0.001	0,4
6	IMO Weather Criterion (Maximum Initial Angle Of Heel )	0.001	0.016

Tabel diatas menggambarkan kondisi ponton saat tidak beroperasi dan setelah dilakukan perhitungan semua kondisi sesuai dan memenuhi regulasi yang berlaku.

### 5.1.2.5.10% consumable and crane operation



Gambar 3.4: Kondisi Kapal Saat 10% *Consumable And Crane Operation*

Gambar 3.4 menunjukkan bahwa saat kapal beroperasi dan alat penghisap mulai melakukan kerja serta bahan bakar habis digunakan sebanyak 10 %. Hal tersebut lantas akan mempengaruhi letak titik berat sehingga perlu adanya manipulasi berat dengan memaikan pemberat yang dalam hal ini menggunakan air d dalam tangki *ballast*.

Tabel 3.13: 10% *consumable and crane operation*

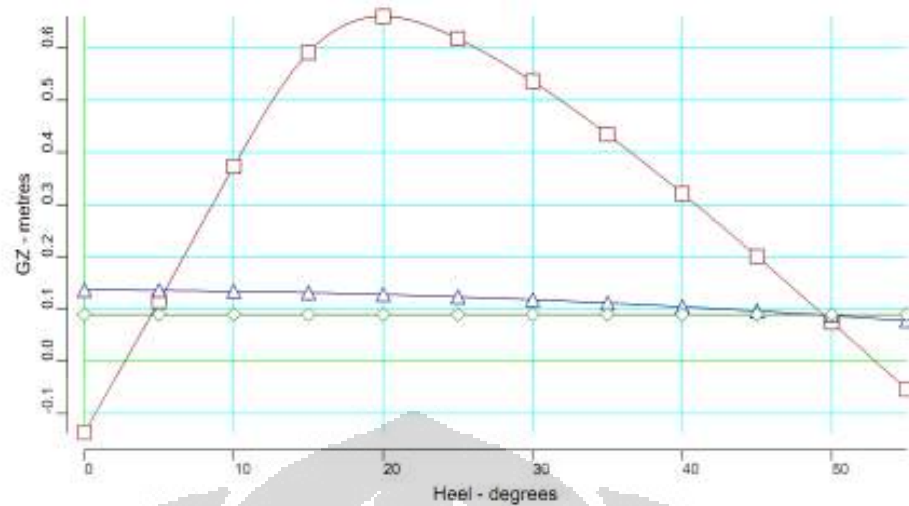
Title	Cargo	% full	SG (t/m <sup>3</sup> )	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
<i>10% Consumable</i>								
FOT P: FOT P	FO	10,0	0,9	0,6	7,4	-2,1	0,5	1,1
FOT S: FOT S	FO	10,0	0,9	0,6	7,4	2,1	0,5	1,1
WB1P: WB1P	FW	22,5	1,0	1,7	20,8	-2,1	0,2	1,3
WB1S: WB1S	FW	10,0	1,0	0,7	20,7	2,1	0,1	1,3
<b>Total 10% Consumable</b>				<b>3,7</b>	<b>16,1</b>	<b>-0,5</b>	<b>0,3</b>	<b>4,8</b>
day & set tk.								
day & set. tk.				0,6	12,9	0,9	2,5	0,0
<b>Total day &amp; set tk.</b>				<b>0,6</b>	<b>12,9</b>	<b>0,9</b>	<b>2,5</b>	<b>0,0</b>
Crane at Max Outreach								

Crane in 4 m Outreach				0,9	13,6	4,1	5,1	0,0
<b>Total Crane at Max Outreach</b>				<b>0,9</b>	<b>13,6</b>	<b>4,1</b>	<b>5,1</b>	<b>0,0</b>
<i>2 ton Load at 4 m Crane Outreach</i>								
Load 2 ton				2,0	13,6	5,6	5,1	0,0
<b>Total 2 ton Load at 4 m Crane Outreach</b>				<b>2,0</b>	<b>13,6</b>	<b>5,6</b>	<b>5,1</b>	<b>0,0</b>
<b>Lightweight</b>				<b>91,1</b>	<b>10,6</b>	<b>0,0</b>	<b>1,5</b>	<b>0,0</b>
<b>Deadweight</b>				<b>7,2</b>	<b>14,9</b>	<b>1,9</b>	<b>2,4</b>	<b>4,8</b>
<b>Total Displacement</b>				<b>98,3</b>	<b>10,9</b>	<b>0,1</b>	<b>1,6</b>	<b>4,8</b>
<b>Buoyancy</b>				<b>98,3</b>	<b>10,9</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>396,4</b>
<b>Total Buoyancy</b>				<b>98,3</b>	<b>10,9</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>396,4</b>

Pada perhitungan kondisi keempat yakni kapal pada kondisi 10% *consumable and crane operation*, tangki-tangki *ballast* terisi sebagian dan kondisi crane atau alat keruk beroperasi 4 m ke bawah dan memuat 2 ton . Setelah tangki *ballast* terisi sebagian nilai buoyancy kapal bertambah. Kemudian pada perhitungan draft di sudut keseimbangan pun berbeda dengan yang sebelumnya.

Tabel 3.14: *Drafts at equilibrium angle*

	Moulded	Extreme	
Draft at LCF	0,893	0,901	Metres
Draft aft at marks	0,871	0,879	Metres
Draft fwd at marks	0,917	0,925	Metres
Draft at AP	0,871	0,879	Metres
Draft at FP	0,917	0,925	Metres
Mean draft at midships	0,894	0,902	Metres



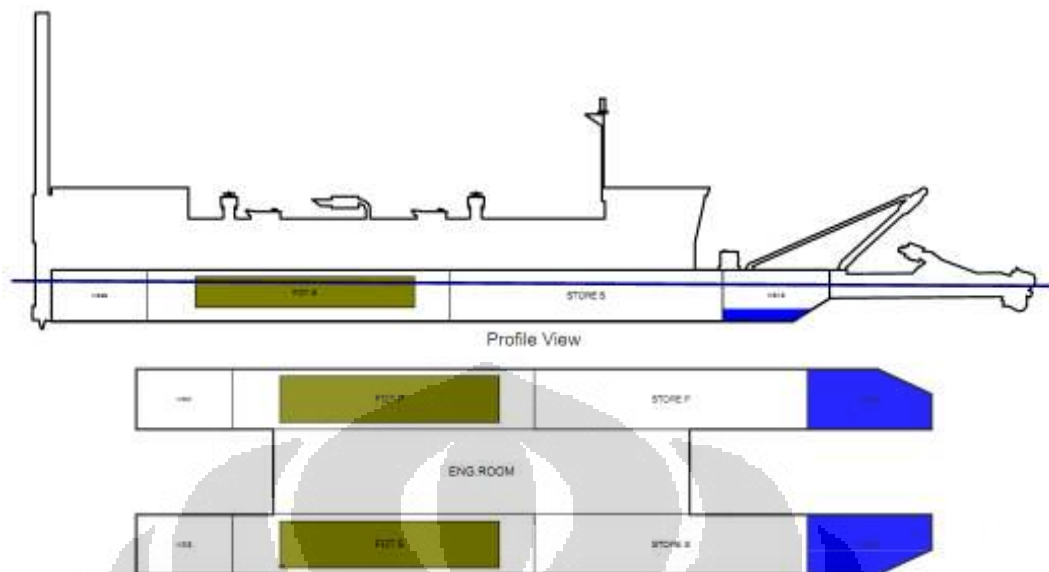
Grafik 3.5: Kondisi Kapal Saat 10% Dan Crane Operation

Tabel 3.15: Pontoon Crane

#	Criterion	Actual	Critical
		Value	Value
1	Area under GZ curve up to Max GZ > 0.08	0,121	0,080
2	Range of Stability >= 20 Degree	50,215	20,000
3	Lifting of heavy weights : Max. Heel angle 15	5,407	15,000
4	Lifting of heavy weights : $GZ_c/GZ_{max} \leq 0.6$	0,000	0,600
5	Lifting of heavy weights : Area A $\Rightarrow 0.4$ of total area	1,000	0,400
6	IMO Weather Criterion (Maximum Initial Angle Of Heel )	3,897	16,000

Tabel diatas menggambarkan kondisi ponton saat tidak beroperasi dan setelah dilakukan perhitungan semua kondisi sesuai dan memenuhi regulasi yang berlaku.

### 5.1.2.6. Full consumable and crane operation



Gambar 3.5: Kondisi Kapal Saat Full Consumable And Craneoperation

Gambar di atas menunjukkan bahwa saat bahan bakar terkonsumsi semuanya dan alat penghisap sedang beroperasi. Keadaan tersebut sama dengan keadaan sebelumnya yang dapat mempengaruhi stabilitas kapal. Sehingga untuk menjaga kestabilan tersebut, perlu adanya pengaturan berat.

Tabel 3.16 *Full Consumable And Crane Operation*

Title	Cargo	% full	SG (t/m <sup>3</sup> )	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)
<i>Full Consumable</i>								
FOT P: FOT P	FO	97	0,85	6,20	7,40	-2,12	0,84	1,10
FOT S: FOT S	FO	97	0,85	6,20	7,40	2,12	0,84	1,10
WB1P: WB1P	FW	32	1,00	2,40	20,85	-2,11	0,30	1,30
WB1S: WB1S	FW	20	1,00	1,50	20,77	2,12	0,19	1,30
<b>Total Full Consumable</b>				<b>16,30</b>	<b>10,56</b>	<b>-0,12</b>	<b>0,70</b>	<b>4,80</b>
<i>day &amp; set tk.</i>								
day & set. tk.				0,60	12,94	0,89	2,50	0,00
<b>Total day &amp; set tk.</b>				<b>0,60</b>	<b>12,94</b>	<b>0,89</b>	<b>2,50</b>	<b>0,00</b>
<i>Crane at Max Outreach</i>								
Crane in 4 m Outreach				0,90	13,60	4,08	5,10	0,00
<b>Total Crane</b>				<b>0,90</b>	<b>13,60</b>	<b>4,08</b>	<b>5,10</b>	<b>0,00</b>

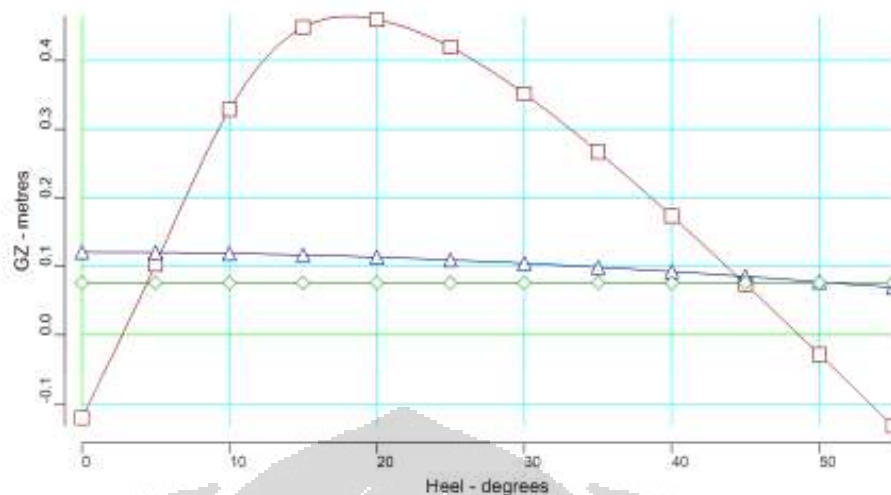
<b>at Max Outreach</b>								
<i>2 ton Load at 4 m Crane Outreach</i>								
Load 2 ton				2,00	13,60	5,58	5,10	0,00
<b>Total 2 ton Load at 4 m Crane Outreach</b>				<b>2,00</b>	<b>13,60</b>	<b>5,58</b>	<b>5,10</b>	<b>0,00</b>
<b>Lightweight</b>				<b>91,10</b>	<b>10,61</b>	<b>0,00</b>	<b>1,54</b>	<b>0,00</b>
<b>Deadweight</b>				<b>19,80</b>	<b>11,07</b>	<b>0,68</b>	<b>1,40</b>	<b>4,80</b>
<b>Total Displacement</b>				<b>110,90</b>	<b>10,70</b>	<b>0,12</b>	<b>1,52</b>	<b>4,80</b>
<b>Buoyancy</b>				<b>110,80</b>	<b>10,69</b>	<b>0,17</b>	<b>0,51</b>	<b>396,60</b>
<b>Total Buoyancy</b>				<b>110,80</b>	<b>10,69</b>	<b>0,17</b>	<b>0,51</b>	<b>396,60</b>

Pada perhitungan kondisi keempat yakni kapal pada kondisi *Full Consumable And Crane Operation*, tangki-tangki *ballast* terisi penuh dan kondisi crane atau alat keruk beroperasi maksimum. Setelah tangki *ballast* terisi penuh nilai buoyancy kapal bertambah. Kemudian pada perhitungan draft di sudut keseimbangan pun berbeda dengan yang sebelumnya.

Tabel 3.17: Drafts Pada Sudut Keseimbangan

	Moulded	Extreme	
Draft at LCF	1,006	1,014	metres
Draft aft at marks	1,061	1,069	metres
Draft fwd at marks	0,945	0,953	metres
Draft at AP	1,061	1,069	metres
Draft at FP	0,945	0,953	metres
Mean draft at midships	1,003	1,011	metres





Grafik 3.6: *Full Consumable And Crane Operation*

Tabel 3.18: Pontoon Crane

#	Criterion	Actual Value	Critical Value
1	Area under GZ curve up to Max GZ > 0.08	0,082	0,080
2	Range of Stability >= 20 Degree	45,928	20,000
3	Lifting of heavy weights : Max. Heel angle 15	5,377	15,000
4	Lifting of heavy weights : GZc/GZmax <= 0.6	0,000	0,600
5	Lifting of heavy weights : Area A => 0.4 of total area	1,000	0,400
6	IMO Weather Criterion (Maximum Initial Angle Of Heel )	3,826	16,000

Tabel diatas menggambarkan kondisi ponton saat tidak beroperasi dan setelah dilakukan perhitungan semua kondisi sesuai dan memenuhi regulasi yang berlaku.

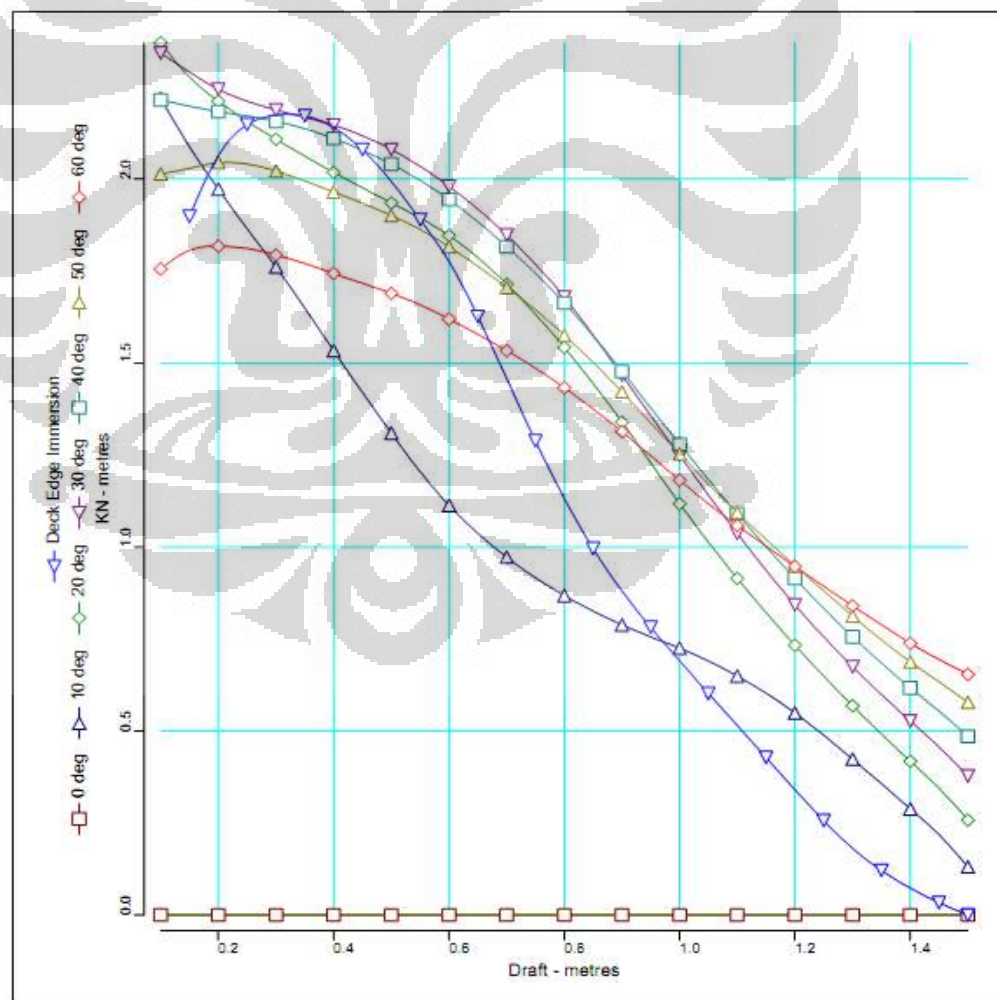
### 5.1.3. *Cross Curve*

Stabilitas suatu kapal merupakan kemampuan kapal tersebut untuk kembali ke keadaan semula, setelah mengalami oleng akibat pengaruh gaya dari dalam dan luar kapal. Stabilitas suatu kapal dapat ditentukan melalui suatu diagram Panto Carena (*Cross Curve*), dimana panto carena ini adalah suatu

diagram yang melukiskan hubungan antara displacement dengan  $N \varphi K \sin \varphi$  untuk setiap sudut oleng.

Untuk mendapatkan diagram panto carena, terdapat beberapa metode yang dapat digunakan. Pada perhitungan perencanaan digunakan metode Benjamin-Spence.

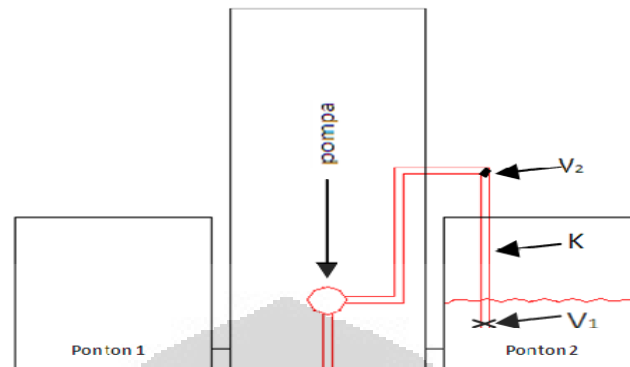
Untuk mendapatkan diagram panto carena, dihitung luas bidang untuk setiap sudut kemiringan atau oleng dengan menggunakan metode simpson I, dengan hasil tersebut akan didapatkan luas garis air serta titik berat. Dari kedua data tersebut dapat dihitung volume dan titik tekan memanjang pada berbagai sudut oleng. Adapun sudut oleng yang diperiksa adalah  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $50^\circ$  dan  $60^\circ$ . Adapun tabel perhitungan *cross curve* penulis sajikan di lampiran dan dibawah disajikan grafiknya.



Grafik 3.7: *Crose Curve*

## 5.2. Perancangan Sistem *Ballast* Udara Tekan Kapal Keruk

### 5.2.1. Pendahuluan



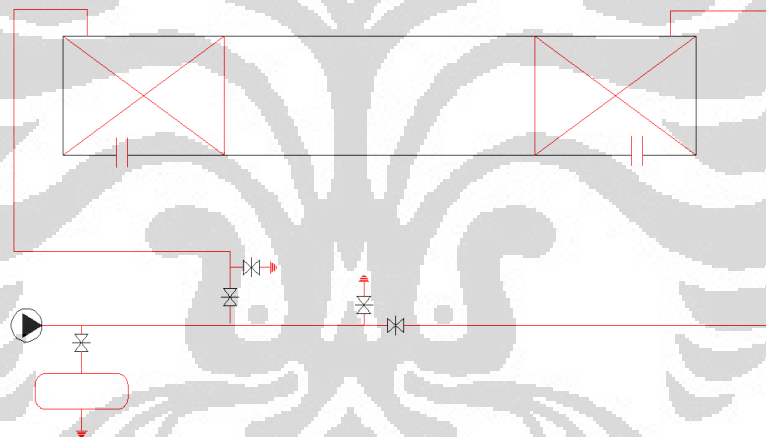
Gambar 3.7: Tampak depan kapal keruk.  $V_1$  valve bagian bawah,  $V_2$  valve bagian atas,  $K$  kolom air yang dipertahankan

Desain untuk membangun kapal keruk untuk sistem *ballast* adalah menggunakan satu pompa bertempat di *center hull*. Pipa dan katup diatur atau dipasang sedemikain rupa sehingga pipa ke *ballast* dapat berfungsi sebagai saluran isi maupun keluar. Karena kapal keruk ini terdiri atas tiga ponton, dimana saluran pipa tidak dapat menembus satu dengan yang lainnya, maka pipa harus keluar ke atas dek kemudian turun masuk ke tangki *ballast*. Bila pipa atau saluran berfungsi sebagai saluran keluar, dalam hal ini sebagai pipa hisap pompa, maka haruslah ada kolom air yang dipertahankan. Cara yang lazim adalah memakai *non-return valve*. Kesulitan akan timbul bila pipa akan difungsikan sebagai saluran masuk *ballast* atau saluran keluar dari pompa. Maka air tidak akan masuk karena ada *non-return valve*. *Non-return valve* bisa dipasang di atas  $V_2$  atau di bawah  $V_1$ . Valve atau keran harus ditempatkan dipasang di pipa yang berada di tangki *ballast* untuk mempertahankan kolom air. Maksudnya agar tidak memancing air. Hal lain adalah mempertahankan katup agar tidak bocor, dan tahan terhadap karat agar tidak bocor dan kotoran-kotoran kecil supaya tidak mengganjal katup

Maka dari itu penulis mengusulkan saran untuk menggunakan sistem *ballast* udara tekan. Ada beberapa kemungkinan keunggulan yang ditawarkan dari sistem *ballast* ini, diantaranya:

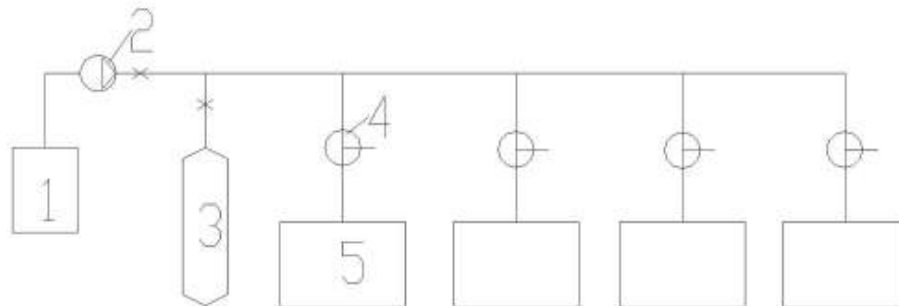
- a. Mudah untuk dibongkar pasang, mengingat kapal ini memiliki 3 bagian yang terpisah.
- b. Mudah dalam perawatan instalasi perpipaannya.
- c. Memudahkan operator dalam hal menjaga lubang hisap pada pompa hisap ketika beroperasi dan kapal tetap stabil.
- d. Instalasi pipa yang dipasang jauh lebih sedikit bila dibandingkan dengan sistem pompa air yang membutuhkan pipa lebih banyak untuk menghubungkan ke pompa sentrifugal.
- e. Penggunaan *reservoir* bisa menambah kemudahan operator dalam memainkan draft yang ingin dicapai.

### 5.2.2. Gambaran Umum Sistem *Ballast* Udara Tekan Kapal Keruk *Cutter Suction Dredger*.



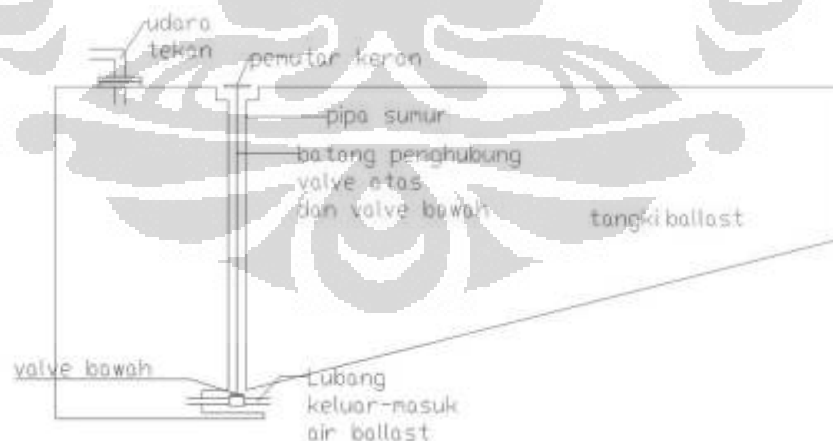
Gambar 3.6: Aplikasi sistem udara tekan pada kapal keruk

Pada gambar di atas menjelaskan bahwa udara tekan yang dihasilkan oleh kompresor ditampung di reservoir untuk suatu saat dapat digunakan untuk meniupkan udara ke dalam tangki *ballast*.



Gambar 3.7: Diagram skematik sistem *ballast* dengan memakai udara tekan  
1. Filter. 2. Kompresor. 3. Reservoir. 4. 3 way valve. 5. Tangki *ballast*

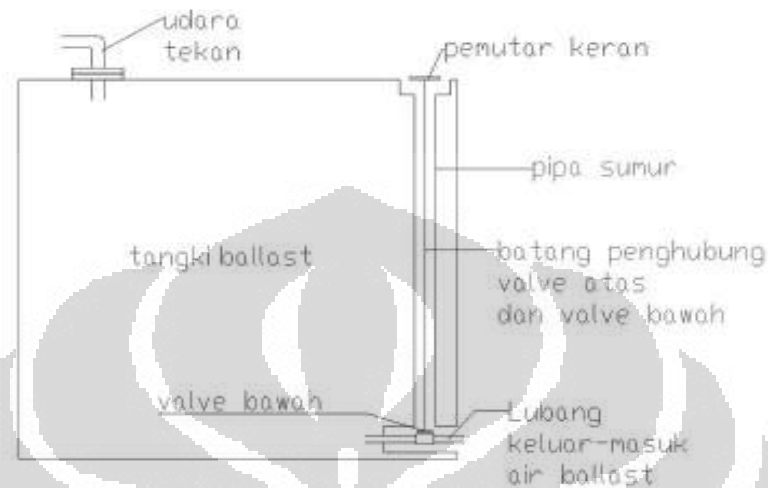
Pada skema di atas udara dari luar di filter terlebih dahulu kemudian dikompres oleh kompresor. Kemudian udara yang telah di kompresor dimasukkan kedalam tabung reservoir dan dapat diatur sesuai dengan jumlah tekanan yang dibutuhkan. Kemudian untuk meniupkan udara ke dalam empat buah tangki *ballast*, terdapat *valve* mengatur jumlah udara yang keluar dan dialirkan melalui pipa utama dan bercabang ke setiap tangki *ballast*.



Gambar 3.8: Tangki *ballast* bagian depan

Pada gambar diatas dapat diketahui bahwa untuk bagian depan, tangki *ballast* ini digunakan ketika untuk menjaga stabilitas kapal saat crane beraksi atau alat keruk

beraksi atau ketika membutuhkan draft yang lebih dalam guna pompa hisap lumpur dapat tercelup air sehingga tidak terjadi *loss*. Untuk tangki *ballast* bagian belakang digunakan ketika *spud* yang menjadi alat penggerak pada saat beroperasi sehingga bagian belakang kapal tetap stabil.

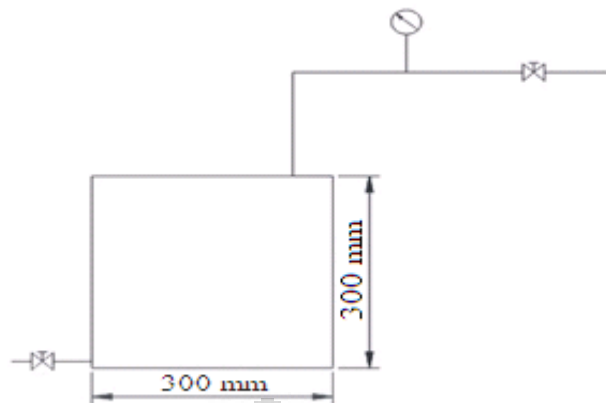


Gambar 3.9: Tangki *Ballast* bagian belakang

Pada tangki terdapat sistem buka tutup keran bagian bawah tempat keluar masuknya air dengan menggunakan batang penghubung sehingga bisa diatur diatas tangki bahkan bisa menggunakan sistem otomasi.

### 5.3. Model Sistem *Ballast* Udara Tekan

Penerapan sistem *ballast* udara tekan pada kapal keruk *cutter suction dredger* penulis mensimulasikan dengan membuat model tangki *ballast*. Kemudian model tersebut dapat menggambarkan mekanisme sistem *ballast* tersebut cukup efektif untuk digunakan di kapal keruk *cutter suction dredger*. Berikut adalah gambaran model yang akan digunakan untuk melakukan simulasi.



Gambar 3.10: Model tangki *ballast* belakang

Ukuran tangki ini dibuat 50 kalinya dari ukuran tangki yang sebenarnya. Ukuran model yang dibuat memiliki dimensi 30 cm x 30 cm x 30 cm. Tinggi ponton yang sebenarnya adalah 1.5 m sedangkan tinggi model ini 30 cm.

### 5.3.1. Desain Model

Alat yang harus dipersiapkan untuk membuat model sistem ballast udara tekan ini diantaranya:

- 1) Pelat galvanise tebal 1 mm
- 2) Pipa tembaga
- 3) Valve
- 4) *Pressure gauge*
- 5) Selang kompresor
- 6) Nepel
- 7) *Pipe tape*
- 8) *Lem Dextone*

Adapun proses proses perancangan modelnya sebagai berikut

- 1) Menyediakan semua perlengkapan dengan benar.
- 2) Membuat bentuk kotak sebagai ilustrasi ponton kapal keruk dari pelat galvanise pada gambar diatas dengan las.
- 3) Membuat lubang pada sisi samping dan bagian atas sebesar 1/8 inch
- 4) Menyusun *valve*, pipa tembaga, *pressure gauge*, dan nepel sesuai dengan gambar di atas.

- 5) Menggabungkan antar nepel dengan *pipe tape*.
- 6) Setelah selesai disusun seperti gambar di atas, tangki di cek uji kebocoran lasan, jika ada terjadi kebocoran maka di tandai untuk menambal lasan yang bocor tersebut yang telah ditandai.
- 7) Ulangi langkah 6 sampai tidak terjadi kebocoran. Untuk menambah kekedapan udara, antar sambungan lasan diolesi lem dextone dan setelah itu ditunggu satu hari untuk mendapatkan hasil yang bagus.
- 8) Setelah kotak sudah siap digunakan, percobaan pun dapat dilakukan.

Berikut ini adalah model yang telah dirangkai.



Gambar 3.11 Model yang telah dibuat dan siap digunakan.

Dimensi utama kotak model yang akan digunakan percobaan :

- a. Sisi = 30 cm
- b. Volume kotak = 27000 cm<sup>3</sup>
- c. Diameter lubang = 1/8 inch



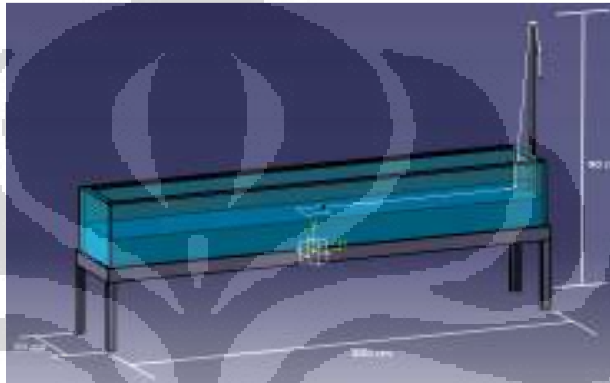
**BAB 4**  
**PENGAMBILAN DATA, PERHITUNGAN SERTA ANALISA SISTEM**  
***BALLAST UDARA BERTEKANAN***

**9.1.Percobaan Simulasi Sistem Balast Memakai Udara Tekan**

**9.1.1. Peralatan Utama Pengujian**

Percobaan ini membutuhkan beberapa peralatan utama diantaranya:

- a. Kolam uji



Gambar 4.1: Kolam uji

Kolam uji ini merupakan salah satu fasilitas yang terdapat di Program Studi Teknik Perkapalan Universitas Indonesia. Kolam uji ini terbuat dari kaca transparan setebal 1 cm dan memiliki panjang 300 m dengan kedalaman air bisa mencapai 40 cm. Ketika pengujian kolam tersebut diisi sampai kotak model tenggelam seluruhnya yaitu sebesar 30 cm.

- b. Pelat galvanise



Gambar 4.2: Massa pelat galvanise yang terbungkus koran

Pelat galvanise digunakan untuk membuat simulasi pada sistem *ballast* karena dianggap cukup kuat dan tidak terlalu lentur dan harga yang cukup murah. Pelat yang digunakan memiliki tebal 1mm dan itu dirasa cukup untuk menahan udara tekan yang nantinya akan dibentuk kotak sebagai simulasi tangki *ballast*.

c. Pipa Tembaga

Pipa tembaga yang dipakai untuk merancang percobaan ini menggunakan pipa yang berdiameter 1/8 inch dan 1/4 inch.

d. HP (stopwatch)

Alat yang digunakan untuk mengukur waktu kenaikan draft adalah menggunakan Hand Phone. Dengan membuka aplikasi *stopwatch*, waktu dapat dihitung tiap kenaikan 2 cm.

e. Keran

Keran yang digunakan untuk percobaan ini menggunakan tipe *ball valve*. Ukuran diameter keran ini sesuai dengan ukuran keluarnya air dalam tangki *ballast* dan masuknya udara dari kompresor. Ukuran yang digunakan 1/8 inch.



Gambar 4.3: *Ball valve (hand valve)*

f. Lem besi Dextone.

Lem ini diperlukan karena setiap sambungan pelat mengalami kebocoran. Lem ini cukup kuat untuk menahan tekanan yang cukup tinggi.

g. *Pipe tape*

*Tape* ini digunakan untuk memasang antar nepel supaya menghindari kebocoran antar sambungan nepel.

h. *Pressure Gauge*

Alat untuk mengukur tekanan udara yang masuk ke dalam tangki *ballast* menggunakan *Pressure Gauge*.



Gambar4.4: *Pressure Gauge*.

Alat ini memiliki kemampuan untuk mengukur tekanan maksimal sebesar 1,6 bar dan dianggap memenuhi dengan kriteria yang diinginkan.

i. Penggaris mika

Alat untuk mengukur kenaikan draft pada percobaan ini menggunakan mistar berukuran 30 cm. Pengaris ini ditempel di bagian sisi kotak untuk mengukur kenaikan kotak.



Gambar 4.5: Mistar plastik

## j. Kompresor



Gambar 4.6: Kompresor

Kompresor pada percobaan ini menggunakan kompresor yang tersedia dari departemen. Udara yang dibutuhkan disalurkan melalui selang kompresor dan kemudian disambungkan ke lubang yang ada di kotak model.

### 9.1.2. Prosedur Percobaan Model *Ballast*

Proses pengujian tekanan ini dilakukan dengan memasukan udara dari kompresor yang dapat diatur menggunakan keran dan posisi tangki *ballast* dibuat tenggelam terlebih dahulu sehingga setelah dimasukkan udara tekan perlahan-lahan tangki diperkirakan akan naik. Adapun langkah-langkah percobaannya sebagai berikut:

Berikut langkah percobaan dalam uji coba sistem *ballast* udara tekan ini:

- 1) Siapkan semua peralatan uji sesuai dengan rancangan dan pastikan semua alat dalam kondisi yang baik.

- 2) Mempersiapkan kolam, memasukkan kotak ballast sebagai ilustrasi ponton ke dalam kolam hingga tercelup semua permukaannya ke dalam air dengan tinggi model kotak adalah 30 cm.



Gambar 4.7: Proses penenggelaman tangki

- 3) Setelah semua permukaan kotak model tenggelam, persiapan untuk memasukkan udara tekan ke dalam kotak dengan menyambungkannya dengan selang serta keran bawah dibiarkan terbuka.



Gambar 4.8: Keran bagian bawah terbuka

- 4) Setelah semua tersambung, udara tekan dari kompresor masuk dan keran atas dibuka dan tunggu sampai kotak model model naik sebesar 2 cm ke atas.



Gambar 4.9: Proses pengisian udara tekan dari kompresor

- 5) Mencatat tekanan yang terbaca pada *pressure gauge* dan menutup kembali keran atas.
- 6) Kemudian mencatat waktu yang berjalan pada aplikasi stopwatch di Hand Phone setiap kenaikan 2 cm kotak model.
- 7) Kemudian buka kembali keran atas untuk memasukkan udara tekan dari kompresor kembali sampai terangkat kembali sebesar 2 cm.
- 8) Mengulangi langkah 5,6 dan 7 sampai kotak tersebut terangkat 26 cm naik ke atas.
- 9) Kemudian mengulangi langkah 5,6,7,8 sebanyak 5 kali.

## 9.2. Hasil Percobaan

Dari percobaan yang dilakukan didapatkan beberapa data diantaranya, pengaruh tekanan yang diberikan kedalam tangki *ballast* dengan kenaikan draft. Percobaan ini dilakukan sebanyak lima kali. Selain menghitung hubungan antara tekanan dan draft, dihitung juga hubungan antara waktu dan kenaikan draft, serta hubungan antara waktu dan tekanan.

Dibawah ini adalah data-data hasil percobaan yang dilakukan antara kenaikan draft, waktu dan tekanan.

Tabel 4.1: Percobaan ke-1

<b>kenaikan draft (cm)</b>	<b>waktu (m)</b>	<b>tekanan (bar)</b>
2	0,46	1,12
4	1,07	1,12
6	1,36	1,1
8	2,08	1,1
10	2,27	1,1
12	2,44	1,09
14	3,18	1,09
16	3,42	1,08
18	3,59	1,08
20	4,21	1,07
22	4,47	1,07
24	5,07	1,04
26	5,21	1,04

Tabel 4.2: Percobaan ke-2

<b>kenaikan draft (cm)</b>	<b>waktu (m)</b>	<b>tekanan (bar)</b>
2	0,28	1,1
4	0,87	1,09
6	1,22	1,09
8	1,98	1,07
10	2,19	1,07
12	2,53	1,06
14	2,72	1,06
16	2,95	1,06
18	3,21	1,06
20	3,58	1,04
22	3,82	1,03

24	4,03	1,02
26	4,37	1,02

Tabel 4.3: Percobaan ke-3

<b>kenaikan draft (cm)</b>	<b>waktu (m)</b>	<b>tekanan (bar)</b>
2	0,85	1,09
4	1,54	1,08
6	2,03	1,07
8	2,51	1,07
10	3,84	1,05
12	4,27	1,05
14	5,02	1,04
16	5,79	1,03
18	6,13	1,03
20	6,26	1,03
22	6,69	1,02
24	7,02	1,01
26	7,3	1,01

Tabel 4.4: Percobaan ke 4

<b>kenaikan draft (cm)</b>	<b>waktu (m)</b>	<b>tekanan (bar)</b>
2	0,54	1,07
4	1,48	1,07
6	1,93	1,07
8	2,74	1,06
10	2,99	1,06
12	3,26	1,05
14	3,43	1,04
16	3,74	1,04



18	3,96	1,03
20	4,07	1,03
22	4,34	1,02
24	4,88	1,02
26	5,03	1,02

Tabel 4.5: Percobaan ke-5

<b>kenaikan draft (cm)</b>	<b>waktu (m)</b>	<b>tekanan (bar)</b>
2	1,48	1,05
4	2,28	1,05
6	3,01	1,04
8	3,92	1,04
10	4,69	1,03
12	5,29	1,03
14	5,87	1,02
16	6,05	1,02
18	6,32	1,02
20	6,97	1,01
22	8,04	1,01
24	8,74	1,01
26	8,82	1,01

Tabel 4.6: Rata-rata Percobaan

<b>kenaikan draft (cm)</b>	<b>waktu (m)</b>	<b>tekanan (bar)</b>
2	0,722	1,086
4	1,448	1,082
6	1,91	1,074
8	2,646	1,068

10	3,196	1,062
12	3,558	1,056
14	4,044	1,05
16	4,39	1,046
18	4,642	1,044
20	5,018	1,036
22	5,472	1,03
24	5,948	1,02
26	6,146	1,02

### 9.3. Pengolahan Data Hasil Simulasi Model *Ballast*

Model uji coba *ballast* menggunakan kotak dengan sebagai contoh dari tangki *ballast* bagian belakang. Tangki bagian belakang ini digunakan untuk mengatur draft kapal ketika *spud* kapal digunakan. Sehingga ketika digunakan sistem ini operator bisa dengan mudah dengan mengatur sistem *ballast*. Operator kapal keruk mengendalikan keran bahkan selanjutnya bisa dilakukan penelitian lebih lanjut untuk otomasi sistem.

Berikut adalah beberapa perhitungan yang didapat dari percobaan yang dilakukan dengan model kotak dengan perbandingannya daritangki *ballast* bagian belakang.

a. Gaya apung kotak

$$\begin{aligned}
 F_a &= \rho \cdot v \cdot g \\
 &= 1000 \text{ kg/m}^3 \times 0,027 \text{ m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \\
 &= 264,6 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$F_a$  = gaya ke atas (N)

$V$  = volume benda yang tercelup (m<sup>3</sup>)

$\rho$  = massa jenis zat cair (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = percepatan gravitasi (N/kg)

Selama melakukan percobaan kondisi kotak model cukup bagus artinya dapat menahan tekanan maksimal saat berada di kedalaman 30

cm. Gaya tekan yang terjadi pada kotak model saat tenggelam 30 cm adalah

$$\begin{aligned} F_t &= \rho \cdot g \cdot h \cdot v \\ &= 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 0,3 \text{ m} \times 0,027 \text{ m}^3 \\ &= 79,38 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya tekan yang diterima oleh permukaan kotak adalah sebesar 79,38 N dengan kedalaman 30 cm dan untuk kedalaman lainnya dapat dengan mengganti nilai h.

- b. Tekanan yang diberikan oleh zat cair pada bagian bawah kotak yaitu pada lubang keluarnya air atau pada keran yang dibiarkan terbuka. Untuk menghitung item tersebut menggunakan hukum Pascal,

$$P_i = P_o + \rho \cdot g \cdot h$$

$P_o$  = Tekanan atmosfer (1 atm)

$P_i$  = tekanan hidrostatis (N/m<sup>2</sup> atau Pa)

$\rho$  = massa jenis zat cair (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = percepatan gravitasi bumi (9,8 m/s<sup>2</sup>)

$h$  = tinggi zat cair di atas titik yang diukur (m)

Tabel 4.7: Tekanan Hidrostatik yang diberikan zat cair

tinggi kotak yang tercelup (m)	tekanan zat cair (bar)
0,28	1,040
0,26	1,038
0,24	1,037
0,22	1,035
0,2	1,033
0,18	1,031
0,16	1,029
0,14	1,027
0,12	1,025
0,1	1,023

0,08	1,021
0,06	1,019
0,04	1,017

Pengukuran tekanan hidrostatik ini dilakukan melakukan metode numerik karena tekanan yang diberikan oleh zat cair tidak dapat dilakukan dengan alat ukur. Menurut tabel diatas disimpulkan bahwa semakin rendah bagian kotak yang tercelup semakin rendah pula tekanan hidrostatik yang diberikan.

- c. Tekanan yang diberikan oleh kompresor ke dalam kotak model yang menyebabkan air dalam kotak dapat keluar dengan sendirinya dengan syarat bahwa tekanan yang dimasukkan ke dalam kotak harus lebih besar dari tekanan yang diberikan oleh zat cair pada lubang keran bawah

Tabel 4.8: Tekanan udara dari kompresor

<b>tinggi kotak yang tercelup (m)</b>	<b>tekanan udara kompresor (bar)</b>
0,28	1,086
0,26	1,082
0,24	1,074
0,22	1,068
0,2	1,062
0,18	1,056
0,16	1,05
0,14	1,046
0,12	1,044
0,1	1,036
0,08	1,03
0,06	1,02
0,04	1,02

Data tabel di atas diambil dari rata-rata percobaan yang dilakukan sebanyak 5 kali. Menurut tabel di atas semakin rendah bagian kotak yang tercelup semakin rendah pula tekanan udara dari kompresor yang ditambahkan. Bagian kotak yang tercelup yang paling tinggi membutuhkan tekanan udara tekan sebesar 1.086 bar untuk bisa mengeluarkan air di dalam tangki *ballast* model.

d. Perhitungan pengurangan berat dengan gaya ke atas

Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui pengurangan volume air sebagai pemberat agar dapat menambah gaya apung kotak model.

Tabel 4.9: Waktu yang diperlukan untuk mengeluarkan air dari dalam kotak model

Waktu (s)	volume air yang keluar(m <sup>3</sup> )
43,32	0,018
86,88	0,036
114,6	0,054
158,76	0,072
191,76	0,09
213,48	0,108
242,64	0,126
263,4	0,144
278,52	0,162
301,08	0,18
328,32	0,198
356,88	0,216
368,76	0,234

Massa jenis dari kotak model ini dengan berat 3,26975 kg dan volume total adalah 0,00054 m<sup>3</sup> sehingga didapat nilai massa jenisnya yaitu

$$\text{Massa jenis kotak} = 3,26975 \text{ kg} / 0,00054 \text{ m}^3 = 6055,09 \text{ kg/m}^3$$

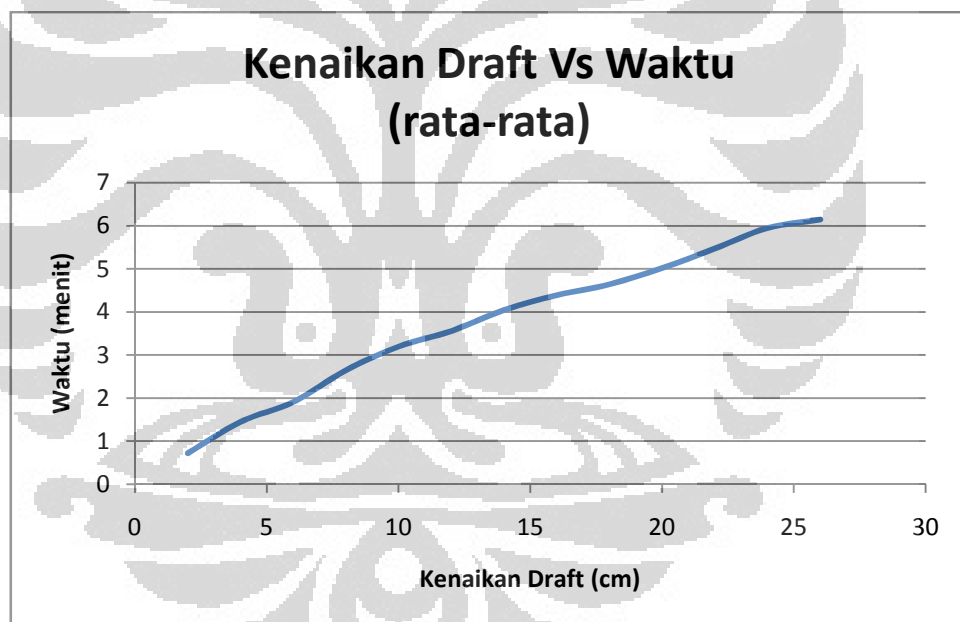
$$\text{Massa jenis air} = 1000 \text{ kg} / \text{m}^3$$

Sehingga benda akan tenggelam, namun dikarenakan memiliki ruangan kosong maka kotak model tidak tenggelam sehingga dibutuhkan pemberat supaya kotak ini tenggelam.

Ketika udara tekan masuk ke dalam kotak model air dalam tangki akan berkurang sehingga gaya apung kotak model bertambah. Ketika waktu semakin lama jumlah air yang keluar semakin banyak. Menurut data diatas dalam waktu 368,76 detik sistem *ballast* ini dapat mengeluarkan air sebanyak  $0.234 \text{ m}^3$ .

Dari hasil percobaan yang dilakukan sebanyak lima kali dapat diolah menjadi tiga hubungan yang disajikan dengan menggunakan grafik.

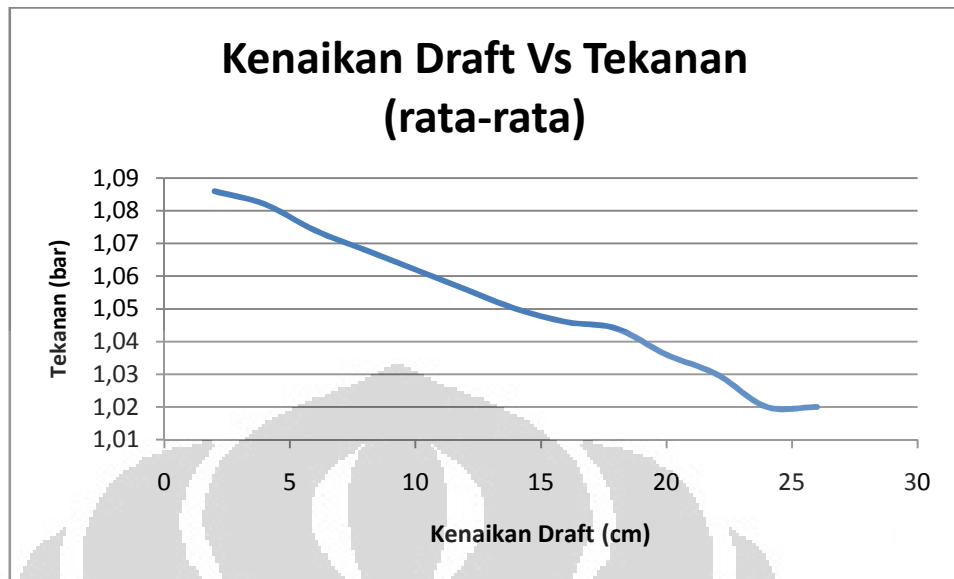
### 9.3.1. Grafik kenaikan draft dan waktu



Gambar 4.1: Kenaikan draft dan waktu

Dilihat dari hasil pengolahan data yang disajikan dalam bentuk grafik menunjukkan bahwa untuk menaikan tangki *ballast* setinggi 0,26 m, tangki *ballast* membutuhkan waktu sebanyak 6,146 menit untuk mengeluarkan ait dalam tangki. Dan hal ini bisa disimpulkan bahwa kecepatan tangki *ballast* naik sebesar  $7,05 \times 10^{-4} \text{ m/s}$  dan untuk kecepatan pada tangki yang sebenarnya adalah 50 kali lipatnya yaitu sebesar 0,04 m/s.

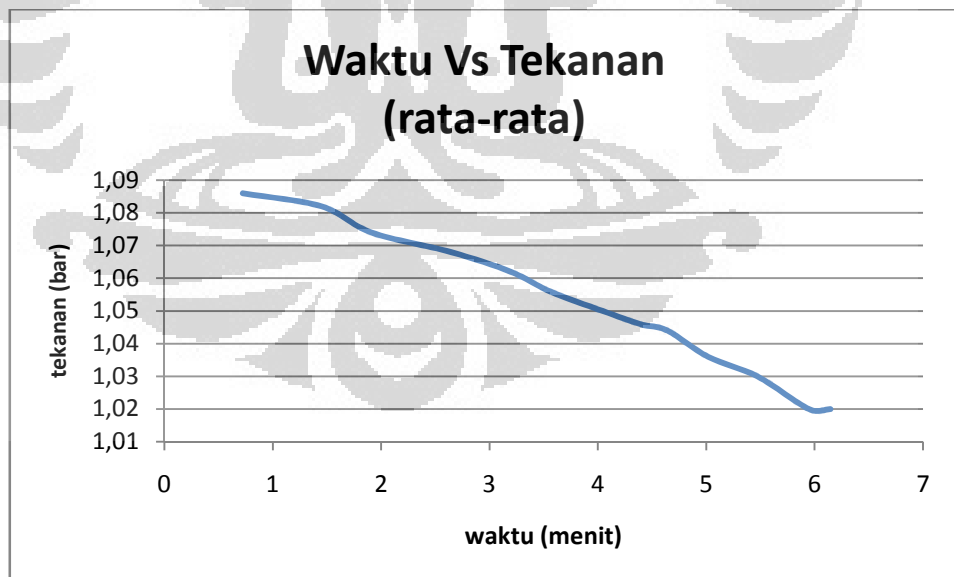
### 9.3.2. Grafik kenaikan draft dan tekanan



Grafik 4.2: Kenaikan draft dan tekanan

Didapatkan banyaknya jumlah tekanan yang dibutuhkan untuk menaikkan tangki *ballast* setinggi 0,26 m, tangki *ballast* membutuhkan 1,02 bar untuk mengeluarkan air dari dalam tangki.

### 9.3.3. Grafik waktu dan tekanan



Grafik 4.3: Waktu dan tekanan

Menurut grafik di atas bahwa variabel waktu dan tekanan berbanding terbalik. Semakin lama waktu berjalan semakin kecil pula tekanan yang

diberikan. Setelah 6 menit berjalan tekanan yang diberikan untuk menahan air masuk kembali dari dalam kolam ke tangki *ballast* hanya membutuhkan 1,02 bar.

#### **9.4. Analisa Percobaan**

Dalam sebuah percobaan tentu tidak dapat dihindari adanya kesalahan-kesalahan yang terjadi. Dengan ketelitian, ketekunan, dan kesabaran dapat meminimalisir hal-hal tersebut. Seperti dalam pembuatan model perlu adanya kualitas lasan yang bagus supaya kondisi tangki *ballast* benar-benar kedap udara. Kemudian ketika melakukan pengukuran, cukup sulit untuk mengatur keran dengan waktu yang relatif cepat dan juga keterbatasan alat ukur yang ada serta kesalahan paralaks mata manusia dalam pengukuran khususnya pengukuran kenaikan draft dan tekanan. Model yang rentan terjadi kebocoran menjadi kelemahan dari percobaan ini sehingga keakuratan pada pengambilan data masih kurang maksimal.

#### **9.5. Analisa Perbandingan Sistem *Ballast* Udara Tekan Pada Kapal Keruk Cutter Suction Dredger Dengan Percobaan Model**

Pada percobaan model tangki *ballast* ini adalah mensimulasikan keadaan tangki *ballast* bagian belakang. Tangki belakang ini memiliki ukuran 50 kali lipatnya dari model yang digunakan yaitu 1500 cm x 1500 cm. Penggunaan tangki *ballast* ini digunakan untuk memanipulasi berat yang dibutuhkan kapal khususnya bagian belakang disaat *spud* bagian belakang digunakan untuk melakukan pergerakan. Ketika *spud* ini bergerak ada berat yang hilang sehingga membutuhkan berat yakni dengan cara mengisi tangki *ballast* dengan air. Begitu juga saat *spud* kembali ke keadaan semula sehingga tangki *ballast* harus mengeluarkan sejumlah air untuk mengurangi berat kapal. Pada percobaan ini menggambarkan bagaimana kemampuan tangki *ballast* untuk mengurangi berat kapal yaitu kemampuan tangki dalam mengeluarkan sejumlah air. Berikut adalah beberapa hubungan perhitungan model yang diuji dengan kondisi kapal keruk yang sebenarnya:



## a. Gaya apung ponton

$$\begin{aligned} F_a &= \rho \cdot v \cdot g \\ &= 1000 \text{ kg/m}^3 \times 7,15 \text{ m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \\ &= 70070 \text{ N} \end{aligned}$$

$F_a$  = gaya ke atas (N)

$V$  = volume benda yang tercelup (m<sup>3</sup>)

$\rho$  = massa jenis zat cair (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = percepatan gravitasi (N/kg)

Gaya apung tersebut adalah kemampuan ponton untuk dapat mengapung dan melawan berat kapal. Bila dibandingkan dengan gaya apung pada model percobaan, gaya apung ponton lebih besar berhubungan dengan semakin besarnya ruangan kosong yang tersedia.

## b. Gaya tekan

$$\begin{aligned} F_t &= \rho \cdot g \cdot h \cdot v \\ &= 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 1 \text{ m} \times 7,15 \text{ m}^3 \\ &= 70070 \text{ N} \end{aligned}$$

Ponton ini memiliki draft sebesar 1 m. Pada kedalaman tersebut ponton ini memperoleh gaya tekan dari air dan lingkungan sebesar 70070 N. Dengan gaya yang cukup besar yang akan diterima oleh permukaan luar tangki dibutuhkan kekuatan pelat yang cukup untuk menahan gaya tekan dari luar. Penggunaan pelat yang tebal dan juga penambahan penyangga plat di bagian dalam dengan konstruksi menyilang.

## c. Tekanan hidrostatik

Tekanan yang diberikan oleh zat cair saat ponton tenggelam sebesar 1m dan keran bagian bawah dibiarkan terbuka adalah sebesar 1,098 bar

$$P_i = P_o + \rho \cdot g \cdot h$$

$P_i$  = tekanan hidrostatik (N/m<sup>2</sup> atau Pa)

$P_o$  = tekanan atmosfer (atm)

$\rho$  = massa jenis zat cair (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = percepatan gravitasi bumi ( $9,8 \text{ m/s}^2$ )

$h$  = tinggi zat cair di atas titik yang diukur (m)

d. Tekanan kompresor

Udara tekan yang diterima ponton pada saat mengeluarkan air dalam tangki *ballast* dapat diukur dari perhitungan model. Pada model percobaan didapatkan bahwa tekanan maksimal yang diberikan kompresor sehingga kotak model terangkat 26 cm adalah sebesar 1,02 bar. Sehingga untuk ponton ini hanya membutuhkan 3 bar untuk dapat mengeluarkan air sampai pada draft maksimal naik ke permukaan.

e. Waktu

Pada perhitungan model dalam waktu 368,76 detik sistem ini dapat mengeluarkan air sebanyak  $0,0234 \text{ m}^3$ . Sehingga waktu yang digunakan untuk dapat mengeluarkan air sebesar 7,15 (volume tangki belakang) adalah selama 1,48 jam. Waktu tersebut tergolong cepat bila dibandingkan dengan sistem pompa yang biasanya membutuhkan berjam-jam untuk mengisi tangki *ballast*.

## BAB 5

### PENUTUP

#### 5.1. Kesimpulan

Setelah melakukan perencanaan dan pembuatan sistem *ballast* kemudian dilakukan simulasi dan analisa, maka dapat diambil beberapa kesimpulan kinerja dari sistem *ballast* yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Udara tekan dari kompresor bisa digunakan untuk mengeluarkan air dari dalam tangki *ballast* ke luar dengan tekanan yang lebih tinggi dibandingkan tekanan yang diberikan oleh air atau fluida
2. Diperlukan perhitungan yang tepat untuk dapat membuat sistem *ballast* untuk bekerja pada kapal keruk *Cutter Suction Dredger* sehingga dapat melakukan pergerakan naik dan turun dengan nilai volume *ballast* kotak sebesar  $27 \text{ dm}^3$  dengan tangki *ballast* yang sebenarnya sebesar  $3375 \text{ dm}^3$ .
3. Sistem *ballast* ini cocok digunakan untuk kapal keruk mengingat bahwa kapal keruk ini memiliki tiga bagian yang terpisah atau *portable*. Sehingga diperlukan sistem *ballast* juga yang *portable* yang bisa bongkar pasang dan mudah digunakan dan efektif untuk melakukan sistem naik dan turun kapal. Dan pada kotak model membutuhkan waktu yang cepat sebanyak 368,76 detik untuk mengeluarkan air sebanyak  $0,234 \text{ m}^3$ .
4. Air tidak dapat masuk ketika draft yang diinginkan operator untuk memudahkan proses pengerukan dengan cara menutup keran atas yang mengalirkan udara. Hal tersebut dikarenakan tekanan yang diterima air dari bawah atau luar sudah menyamai dengan tekanan udara di dalam tangki yang sudah tertutup.
5. Sistem *ballast* pada kapal keruk *Cutter Suction Dredger* ini dapat menerapkan sistem *ballast* udara tekan. Hal ini dikarenakan untuk dapat mengapung dan tenggelam dibutuhkan waktu yang cepat dan mudah serta instalasi pipa tidak begitu banyak. Secara keseluruhan simulasi kotak model yang menggambarkan kinerja sistem *ballast* ini berhasil dapat mengeluarkan air pada kedalaman 30 cm tidak

memerlukan tekanan udara yang sangat besar yang dapat mengganggu kondisi tangki *ballast* itu sendiri.

## 5.2. Saran

Adapun saran untuk pengembangan penelitian lebih lanjut yang dapat penulis sarankan, antara lain:

1. Memiliki banyak variasi lebih lanjut untuk penelitian berikutnya, dan diharapkan penelitian selanjutnya dan dapat membandingkan dengan sistem *ballast* memakai pompa.
2. Diharapkan untuk percobaan berikutnya supaya memanfaatkan penggunaan *software* untuk perhitungan model yang lebih akurat dan presisi mendekati keadaan yang sebenarnya
3. Penggunaan alat ukur yang lebih canggih dapat membantu dalam keakuratan data khususnya penggunaan alat ukur digital khususnya pada pengukuran tekanan.

## DAFTAR PUSTAKA

[www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)

Talahatu A. Marcus. *Teori Merancang Kapal*. Jakarta: Universitas Indonesia, 1985.

A. N, Soekarsono. *Perencanaan Kapal*. Jakarta: Universitas Darma Persada, 1994.

Bruce R. Munson, Donal F. Young, Theode H. Okiishi. *Mekanika Fluida*, Edisi Keempat Jilid 1.

Kemp Young. *Ship Stability*. Third editon. 2001

Derrett DR. *Ship Stability for Master and Mates*. 1984

Fyson J. *Design of Small Fishing Vessels*. England: Fishing News Book. 1985

Hind JA. *Stability and Trim of Fishing Vessels*. Ed ke-2. England: Fishing News Book.hlm 130. 1982

Lampiran 1: Tabel Hidrostatik kapal keruk Cutter Suction Dredger

Draft (m)	Displt (t)	LCB (m)	VCB (m)	WPA (m <sup>2</sup> )	LCF (m)	KML (m)	KMT (m)	WSA (m <sup>2</sup> )	TPC (t/cm)	MTC (t- m/cm)
0,10	11,57	10,642	0,050	107,10	10,670	296,59	33,00	114,03	1,07	1,48
0,15	16,95	10,656	0,075	107,37	10,698	204,45	22,63	117,92	1,07	1,49
0,20	22,34	10,670	0,100	107,63	10,725	156,61	17,27	121,83	1,08	1,51
0,25	27,74	10,683	0,125	107,89	10,752	127,31	13,99	125,74	1,08	1,52
0,30	33,16	10,697	0,150	108,13	10,778	107,52	11,78	129,66	1,08	1,53
0,35	38,59	10,711	0,175	108,38	10,803	93,25	10,19	133,60	1,08	1,55
0,40	44,03	10,724	0,201	108,61	10,828	82,47	9,00	137,54	1,09	1,56
0,45	49,49	10,737	0,226	108,84	10,852	74,05	8,08	141,49	1,09	1,57
0,50	54,95	10,750	0,251	109,07	10,876	67,28	7,34	145,46	1,09	1,59
0,55	60,43	10,762	0,276	109,29	10,900	61,71	6,74	149,43	1,09	1,60
0,60	65,91	10,775	0,301	109,50	10,922	57,06	6,23	153,41	1,09	1,61
0,65	71,41	10,787	0,327	109,71	10,944	53,12	5,81	157,40	1,10	1,62
0,70	76,92	10,799	0,352	109,91	10,966	49,72	5,46	161,40	1,10	1,64
0,75	82,44	10,811	0,377	110,10	10,987	46,78	5,15	165,42	1,10	1,65
0,80	87,97	10,823	0,402	110,29	11,007	44,19	4,88	169,44	1,10	1,66
0,85	93,50	10,835	0,428	110,47	11,027	41,90	4,65	173,47	1,10	1,67
0,90	99,05	10,846	0,453	110,65	11,046	39,86	4,44	177,51	1,11	1,68
0,95	104,60	10,857	0,478	110,82	11,065	38,03	4,26	181,56	1,11	1,69
1,00	110,16	10,868	0,503	110,92	11,076	36,30	4,10	185,59	1,11	1,70
1,05	115,73	10,878	0,529	110,92	11,076	34,60	3,95	189,56	1,11	1,70
1,10	121,29	10,888	0,554	110,92	11,076	33,07	3,82	193,53	1,11	1,70
1,15	126,85	10,896	0,579	110,92	11,076	31,66	3,70	197,50	1,11	1,70
1,20	132,42	10,903	0,604	110,92	11,076	30,38	3,60	201,47	1,11	1,70
1,25	137,98	10,910	0,629	110,92	11,076	29,21	3,50	205,44	1,11	1,70
1,30	143,54	10,917	0,655	110,92	11,076	28,13	3,41	209,41	1,11	1,70
1,35	149,11	10,923	0,680	110,92	11,076	27,13	3,34	213,38	1,11	1,70
1,40	154,67	10,928	0,705	110,92	11,076	26,20	3,27	217,35	1,11	1,70
1,45	160,23	10,934	0,730	110,92	11,076	25,34	3,20	221,33	1,11	1,70
1,50	166,68	10,938	0,755	110,92	11,076	24,41	3,13	335,93	1,11	1,70

*Lampiran 2: Berat Kapal Kosong*

Tabel distribusi berat kapal kosong

X Position (m)	Wt.aft (t/m)	Wt.fwd (t/m)
-0,40	0,000	15,000
0,00	15,000	6,752
1,00	4,281	4,481
2,00	4,410	3,410
4,20	3,254	3,879
5,60	3,780	4,572
8,00	4,402	3,610
10,40	3,440	4,221
10,60	4,185	3,560
15,20	2,735	2,475
16,00	2,418	2,726
19,60	2,602	6,352
20,40	6,324	2,574
23,22	2,561	0,655
25,58	0,965	0,657
28,64	0,768	0,000

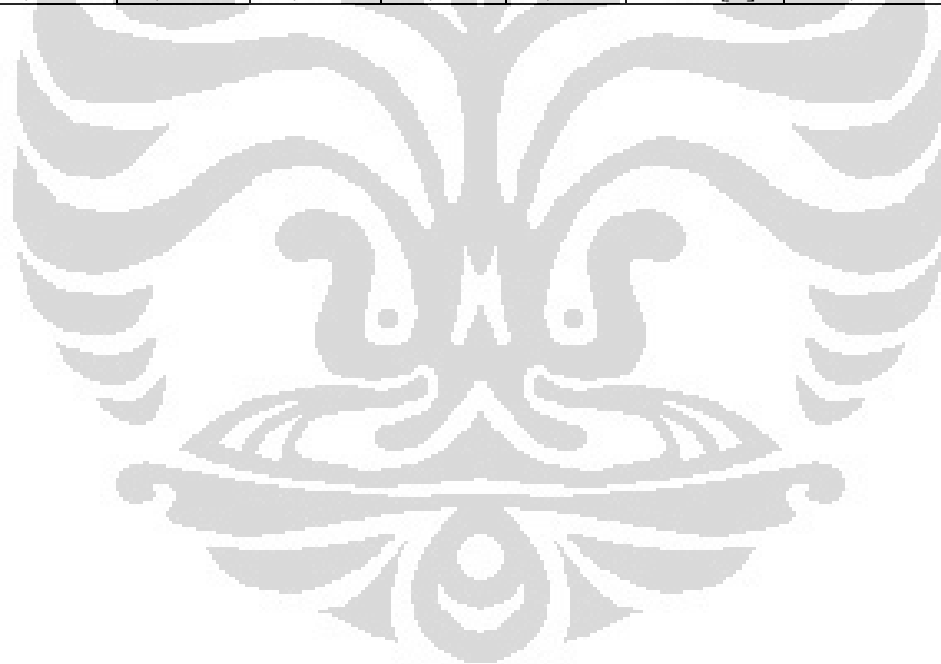
Tabel hidrostatis pada sudut keseimbangan

Density of water	1,000	tonnes/cu.m
Heel to starboard	0,280	degrees
Trim by the stern	0,102	metres
KG	1,564	metres
FSC	0,000	metres
KGf	1,564	metres
GMt	3,155	metres
BMt	4,283	metres
BMI	41,802	metres
Waterplane area	110,230	sq.metres
LCG	10,650	metres
LCB	10,645	metres
TCB	0,021	metres
LCF	10,997	metres
TCF	0,005	metres
TPC	1,102	tonnes/cm
MTC	1,655	tonnes-m/cm
Shell thickness	8,000	mm

## Lampiran 2 :lanjutan

Tabel Kurva Righting Lever (GZ)

Heel to Stbd (deg)	GZ (m)	Slope (m/rad)	Trim (m)	WLrad (m)	Freeboard (m)	Heavy weights (m)	Wind (m)
0,00	-0,0154	3,1381	-0,102	0,833	0.67[0]	0,1457	0,0983
5,00	0,2641	3,1723	-0,105	0,830	0.40[0]	0,1452	0,0983
10,00	0,5495	3,2698	-0,115	0,819	0.14[0]	0,1435	0,0983
15,00	0,8181	2,2597	-0,150	0,807	-0.13[0]	0,1407	0,0983
20,00	0,9143	0,2410	-0,264	0,816	-0.43[0]	0,1369	0,0983
25,00	0,8823	-0,6128	-0,442	0,822	-0.73[0]	0,1321	0,0983
30,00	0,7977	-1,0123	-0,674	0,813	-1.01[0]	0,1262	0,0983
35,00	0,6881	-1,2219	-0,943	0,791	-1.28[0]	0,1194	0,0983
40,00	0,5654	-1,3567	-1,215	0,763	-1.54[0]	0,1116	0,0983
45,00	0,4340	-1,4495	-1,490	0,727	-1.79[0]	0,1030	0,0983
50,00	0,2969	-1,5150	-1,756	0,685	-2.02[0]	0,0937	0,0983
55,00	0,1559	-1,5591	-2,010	0,637	-2.23[0]	0,0836	0,0983





## Lampiran 3: 10% Consumable

Tabel Hidrostatik pada sudut keseimbangan

Density of water	1,000	tonnes/cu.m
Heel	No heel	
Trim by the bow	0,020	metres
KG	1,520	metres
FSC	0,050	metres
KGf	1,570	metres
GMt	2,972	metres
BMt	4,103	metres
BMI	40,476	metres
Waterplane area	110,600	sq.metres
LCG	10,875	metres
LCB	10,876	metres
TCB	0,000	metres
LCF	11,041	metres
TCF	0,000	metres
TPC	1,106	tonnes/cm
MTC	1,678	tonnes-/cm
Shell thickness	8,000	mm

Tabel Righting Lever (GZ) Curve

Heel to Port (deg)	GZ (m)	Slope (m/rad)	Trim (m)	WL rad(m)	Freeboard (m)	Heavy weights(m)	Wind(m)
0	-0,0002	2,9722	0,02	0,875	0.62[0]	0,1392	0,0925
5	0,2644	3,0014	0,017	0,872	-0.36[1]	0,1387	0,0925
10	0,5343	3,0948	0,009	0,861	0.10[1]	0,1371	0,0925
15	0,7731	1,8015	0,000	0,854	-0.18[1]	0,1344	0,0925
20	0,8558	0,0451	0,000	0,886	-0.50[1]	0,1308	0,0925
25	0,8177	-0,7628	0,019	0,929	-0.84[1]	0,1261	0,0925
30	0,736	-1,076	0,063	0,966	-1.17[1]	0,1205	0,0925
35	0,6329	-1,2627	0,116	0,996	-1.49[1]	0,114	0,0925
40	0,5164	-1,3858	0,184	0,001	-1.80[1]	0,1066	0,0925
45	0,3905	-1,4713	0,279	0,001	-2.09[1]	0,0984	0,0925
50	0,2581	-1,5264	0,413	0,001	-2.37[1]	0,0895	0,0925
55	0,1219	-1,5599	0,553	0,001	-2.63[1]	0,0798	0,0925

## Lampiran 4: Full Consumable

Tabel Hidrostatik Pada Sudut Keseimbangan

Density of water	1,000	tonnes/cu.m
Heel	No heel	
Trim by the stern	0,053	metres
KG	1,427	metres
FSC	0,044	metres
KGf	1,471	metres
GMt	2,619	metres
BMt	3,590	metres
BMI	35,719	metres
Waterplane area	110,900	sq.metres
LCG	10,789	metres
LCB	10,787	metres
TCB	0,000	metres
LCF	11,071	metres
TCF	0,000	metres
TPC	1,109	tonnes/cm
MTC	1,697	tonnes-m/cm
Shell thickness	8,000	mm

Tabel Righting Lever (GZ) Curve

Heel to Stbd (deg)	GZ (m)	Slope (m/rad)	Trim (m)	Wlrad (m)	Freeboard (m)	Heavy weights (m)	Wind (m)
0	0,00	2,619	-0,053	1,000	0.50[0]	0,121	0,077
5	0,23	2,643	-0,054	0,997	0.24[0]	0,121	0,077
10	0,47	2,415	-0,062	0,985	-0.03[0]	0,120	0,077
15	0,60	0,654	-0,092	1,006	-0.33[0]	0,117	0,077
20	0,61	-0,209	-0,084	1,079	-0.70[0]	0,114	0,077
25	0,58	-0,623	-0,063	1,169	-1.08[0]	0,110	0,077
30	0,51	-0,883	-0,048	1,253	-1.45[0]	0,105	0,077
35	0,43	-1,034	-0,032	1,326	-1.82[0]	0,099	0,077
40	0,33	-1,129	-0,017	1,389	-2.17[0]	0,093	0,077
45	0,23	-1,192	-0,001	1,442	-2.50[0]	0,086	0,077
50	0,12	-1,231	0,013	1,484	-2.82[0]	0,078	0,077
55	0,02	-1,254	0,026	1,513	-3.11[0]	0,070	0,077

## Lampiran 5: 10% consumable and crane operation

Tabel Hidrostatik Pada Sudut Keseimbangan

Density of water	1	tonnes/cu.m
Heel to starboard	003	degrees
Trim by the bow	0,046	metres
KG	0.002	metres
FSC	0,049	metres
KGf	0.002	metres
GMt	0.003	metres
BMt	0.004	metres
BMI	0.040	metres
Waterplane area	111	sq.metres
LCG	0.011	metres
LCB	0.011	metres
TCB	0,193	metres
LCF	0.011	metres
TCF	0,047	metres
TPC	0.001	tonnes/cm
MTC	0.002	tonnes- m/cm
Shell thickness	0.008	mm

Tabel Righting Lever (GZ) Curve

Heel to Stbd (deg)	GZ (m)	Slope (m/rad)	Trim (m)	WLrad (m)	Freeboard (m)	Heavy weights (m)	Wind (m)
0	-0,136	2,819	0,047	0,894	0.61[0]	0,136	0,090
5	0,115	2,858	0,044	0,890	0.34[0]	0,136	0,090
10	0,373	2,964	0,037	0,879	0.08[0]	0,134	0,090
15	0,592	1,550	0,031	0,876	-0.20[0]	0,132	0,090
20	0,661	-0,049	0,053	0,917	-0.53[0]	0,128	0,090
25	0,618	-0,767	0,116	0,968	-0.88[0]	0,124	0,090
30	0,536	-1,058	0,185	1,014	-1.22[0]	0,118	0,090
35	0,435	-1,224	0,265	1,053	-1.55[0]	0,112	0,090
40	0,322	-1,328	0,361	1,082	-1.86[0]	0,105	0,090
45	0,201	-1,395	0,482	1,101	-2.16[0]	0,096	0,090
50	0,075	-1,434	0,626	1,109	-2.44[0]	0,088	0,090
55	-0,053	-1,452	0,767	1,109	-2.71[0]	0,078	0,090

## Lampiran 6: Full consumable and crane operation

Tabel Hidrostatik Pada Sudut Keseimbangan

Density of water	1,000	tonnes/cu.m
Heel to starboard	2,700	degrees
Trim by the stern	0,117	metres
KG	1,515	metres
FSC	0,043	metres
KGf	1,559	metres
GMt	2,587	metres
BMt	3,580	metres
BMI	35,359	metres
Waterplane area	110,840	sq.metres
LCG	10,695	metres
LCB	10,690	metres
TCB	0,170	metres
LCF	11,049	metres
TCF	0,051	metres
TPC	1,108	tonnes/cm
MTC	1,687	tonnes-m/cm
Shell thickness	8,000	mm

Tabel Righting Lever (GZ) Curve

Heel to Stbd (deg)	GZ (m)	Slope (m/rad)	Trim (m)	WLrad (m)	Freeboard (m)	Heavy weights (m)	Wind (m)
0	-0,12	2,52	-0,12	1,00	0.50[0]	0,12	0,08
5	0,10	2,55	-0,12	1,00	0.23[0]	0,12	0,08
10	0,33	2,27	-0,13	0,99	-0.03[0]	0,12	0,08
15	0,45	0,59	-0,19	1,01	-0.34[0]	0,12	0,08
20	0,46	-0,27	-0,21	1,08	-0.70[0]	0,11	0,08
25	0,42	-0,65	-0,20	1,17	-1.08[0]	0,11	0,08
30	0,35	-0,89	-0,21	1,26	-1.46[0]	0,10	0,08
35	0,27	-1,03	-0,22	1,33	-1.82[0]	0,10	0,08
40	0,17	-1,11	-0,22	1,39	-2.17[0]	0,09	0,08
45	0,07	-1,16	-0,23	1,45	-2.51[0]	0,09	0,08
50	-0,03	-1,19	-0,23	1,49	-2.82[0]	0,08	0,08
55	-0,13	-1,20	-0,22	1,52	-3.11[0]	0,07	0,08

## Lampiran 6: lanjutan

Tabel Ringkasan dari semua keadaan

Items	Units	Light Weight	10% consumable	Full Consumable	10% consumable and Crane	Full Consumable and Crane
Compartment Categories	tonnes					
Other Compartments	tonnes		3,70	16,30	3,70	16,30
Fixed Weights	tonnes	0,90	1,50	1,50	3,50	3,50
Deadweight	tonnes	0,90	5,20	19,30	7,20	19,80
Lightship	tonnes	91,10	91,10	91,10	91,10	91,10
Displacement	tonnes	92,00	96,30	110,40	98,30	110,90
LCG	metres	10,65	10,88	10,79	10,92	10,70
TCG	metres	0,02	0,00	0,00	0,14	0,12
VCG	metres	1,56	1,52	1,43	1,60	1,52
FSM	tonnes-metres	0,00	4,80	4,80	4,80	4,80
FSC	metres	0,00	0,05	0,04	0,05	0,04
KGf	metres	1,56	1,57	1,47	1,65	1,56
Buoyancy	tonnes	91,90	96,30	110,30	98,30	110,80
LCB	metres	10,65	10,88	10,79	10,93	10,69
TCB	metres	0,02	0,00	0,00	0,19	0,17
VCB	metres	0,42	0,44	0,50	0,45	0,51
Density of Water	Tonnes /cu.m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Angle of Heel	degrees	0,28	0,00	0,00	2,71	2,70
Draft at LCF	metres	0,84	0,88	1,01	0,90	1,01
Draft Aft at Marks	metres	0,89	0,87	1,03	0,88	1,07
Draft Fwd at Marks	metres	0,79	0,89	0,98	0,93	0,95
Draft at AP	metres	0,89	0,87	1,03	0,88	1,07
Draft at FP	metres	0,79	0,89	0,98	0,93	0,95
Mean Draft at Midships	metres	0,84	0,88	1,01	0,90	1,01
Trim by Bow	metres	-0,10	0,02	-0,05	0,05	-0,12
Trim by Stern	metres	0,10	-0,02	0,05	-0,05	0,12
BMt	metres	4,28	4,10	3,59	4,03	3,58
Effective GM	metres	3,16	2,97	2,62	2,91	2,59
BMI	metres	41,80	40,48	35,72	39,78	35,36

Waterplane Area	sq.metres	110,23	110,60	110,90	110,79	110,84
LCF	metres	11,00	11,04	11,07	11,05	11,05
TCF	metres	0,01	0,00	0,00	0,05	0,05
TPC	Tonnes/cm	1,10	1,11	1,11	1,11	1,11
MTC	tonnes-m/cm	1,66	1,68	1,70	1,68	1,69
Deck Edge Angle (+ve to Stbd)	degrees	12,54	11,74	9,47	11,39	9,40
Deck Edge Distance	metres	0,65	0,63	0,50	0,46	0,36
Max Shear Force	kN	99,70	-101,10	-119,30	99,80	-107,30
Position of Max SF	metres	4,00	19,60	19,60	4,00	19,60
Max Bending Moment	kNm	783,80	823,80	858,10	790,10	778,80
Position of Max BM	metres	11,61	12,07	13,00	11,61	12,50
Max Torsional Moment	kNm	7,60	-19,20	-19,10	-78,90	-76,50
Position of Max TM	metres	14,00	18,11	15,20	14,00	14,00

## Lampiran 7: cross curve

Tabel Cross Curve

WLRadi (m)	Heel (deg)	Trim (m)	Displ (t)	KN (m)	GM (m)	DS (m- rads)	Deck (m)
0,10	0	0,000	11,57	0,000	32,995	0,000	1,400
-0,10	10	-0,038	11,57	2,220	1,637	0,291	1,054
-0,45	20	-0,051	11,60	2,371	0,256	0,693	0,838
-0,84	30	-0,062	11,57	2,342	-0,481	1,106	0,636
-1,22	40	-0,069	11,57	2,215	-0,981	1,504	0,442
-1,59	50	-0,069	11,58	2,014	-1,352	1,874	0,257
-1,94	60	-0,065	11,57	1,756	-1,580	2,204	0,087
0,15	0	0,000	16,95	0,000	22,634	0,000	1,350
0,00	10	-0,045	16,94	2,088	2,174	0,253	0,952
-0,33	20	-0,070	16,96	2,277	0,391	0,637	0,714
-0,70	30	-0,079	16,97	2,291	-0,261	1,036	0,495
-1,07	40	-0,087	16,95	2,198	-0,777	1,429	0,292
-1,44	50	-0,088	16,94	2,030	-1,147	1,799	0,108
-1,79	60	-0,089	16,96	1,807	-1,497	2,134	-0,056
0,20	0	0,000	22,34	0,000	17,266	0,000	1,300
0,09	10	-0,047	22,34	1,972	2,730	0,222	0,862
-0,22	20	-0,086	22,34	2,212	0,546	0,591	0,602
-0,58	30	-0,097	22,34	2,244	-0,120	0,981	0,375
-0,94	40	-0,103	22,34	2,183	-0,604	1,368	0,165
-1,31	50	-0,107	22,35	2,045	-1,027	1,738	-0,020
-1,66	60	-0,123	22,33	1,818	-1,545	2,077	-0,193
0,25	0	0,000	27,74	0,000	13,987	0,000	1,250
0,18	10	-0,045	27,74	1,865	3,266	0,195	0,779
-0,12	20	-0,098	27,74	2,157	0,728	0,551	0,499
-0,47	30	-0,117	27,74	2,212	-0,033	0,934	0,265
-0,83	40	-0,117	27,77	2,171	-0,458	1,317	0,051
-1,19	50	-0,137	27,75	2,041	-1,059	1,686	-0,142
-1,52	60	-0,161	27,74	1,812	-1,549	2,024	-0,330
0,30	0	0,000	33,16	0,000	11,779	0,000	1,200
0,25	10	-0,038	33,16	1,761	4,125	0,173	0,704
-0,02	20	-0,107	33,16	2,108	0,917	0,517	0,404
-0,36	30	-0,134	33,17	2,188	0,073	0,893	0,161
-0,73	40	-0,143	33,17	2,157	-0,467	1,274	-0,053
-1,07	50	-0,169	33,17	2,022	-1,066	1,640	-0,264
-1,38	60	-0,201	33,16	1,794	-1,528	1,974	-0,467
0,35	0	0,000	38,59	0,000	10,194	0,000	1,150

0,32	10	-0,032	38,62	1,650	5,082	0,154	0,637
0,07	20	-0,113	38,59	2,062	1,107	0,486	0,313
-0,26	30	-0,149	38,61	2,168	0,187	0,857	0,063
-0,62	40	-0,181	38,59	2,137	-0,538	1,234	-0,161
-0,95	50	-0,207	38,60	1,995	-1,071	1,596	-0,385
-1,24	60	-0,243	38,60	1,771	-1,494	1,926	-0,603
0,40	0	0,000	44,03	0,000	9,003	0,000	1,100
0,38	10	-0,027	44,03	1,534	5,794	0,139	0,576
0,16	20	-0,116	44,03	2,019	1,295	0,458	0,228
-0,17	30	-0,167	44,04	2,147	0,225	0,823	-0,032
-0,51	40	-0,225	44,04	2,110	-0,565	1,197	-0,272
-0,82	50	-0,265	44,03	1,965	-1,070	1,554	-0,511
-1,11	60	-0,291	44,04	1,744	-1,465	1,878	-0,740
0,45	0	0,000	49,49	0,000	8,077	0,000	1,050
0,44	10	-0,023	49,48	1,420	6,368	0,125	0,520
0,24	20	-0,117	49,49	1,976	1,478	0,432	0,146
-0,07	30	-0,195	49,49	2,118	0,195	0,792	-0,127
-0,39	40	-0,277	49,49	2,078	-0,562	1,160	-0,390
-0,69	50	-0,338	49,49	1,935	-1,054	1,512	-0,644
-0,96	60	-0,371	49,49	1,717	-1,429	1,831	-0,884
0,50	0	0,000	54,95	0,000	7,338	0,000	1,000
0,49	10	-0,021	54,95	1,310	6,847	0,114	0,467
0,32	20	-0,117	54,95	1,936	1,657	0,408	0,068
0,03	30	-0,226	54,96	2,080	0,179	0,763	-0,227
-0,27	40	-0,338	54,95	2,041	-0,538	1,124	-0,513
-0,55	50	-0,433	54,95	1,901	-1,016	1,469	-0,787
-0,81	60	-0,501	54,95	1,690	-1,386	1,783	-1,040
0,55	0	0,000	60,43	0,000	6,735	0,000	0,950
0,54	10	-0,019	60,42	1,204	6,898	0,105	0,418
0,39	20	-0,116	60,43	1,895	1,776	0,387	-0,007
0,13	30	-0,261	60,43	2,034	0,179	0,734	-0,331
-0,13	40	-0,413	60,43	1,996	-0,502	1,087	-0,645
-0,39	50	-0,566	60,43	1,863	-0,963	1,425	-0,943
-0,63	60	-0,726	60,43	1,659	-1,330	1,733	-1,219
0,60	0	0,000	65,91	0,000	6,234	0,000	0,900
0,59	10	-0,018	65,91	1,114	6,386	0,097	0,368
0,47	20	-0,116	65,92	1,847	1,805	0,367	-0,082
0,24	30	-0,298	65,92	1,981	0,187	0,705	-0,440
0,01	40	-0,509	65,92	1,945	-0,459	1,049	-0,787
-0,22	50	-0,771	65,92	1,816	-0,902	1,378	-1,118
-0,43	60	-1,033	65,92	1,620	-1,254	1,678	-1,421



0,65	0	0,000	71,41	0,000	5,814	0,000	0,850
0,64	10	-0,017	71,41	1,037	5,954	0,090	0,319
0,54	20	-0,111	71,41	1,787	1,857	0,348	-0,157
0,35	30	-0,339	71,42	1,919	0,196	0,675	-0,555
0,16	40	-0,638	71,41	1,884	-0,413	1,009	-0,941
-0,03	50	-0,974	71,41	1,763	-0,830	1,327	-1,303
-0,22	60	-1,300	71,41	1,578	-1,172	1,618	-1,627
0,70	0	0,000	76,92	0,000	5,455	0,000	0,800
0,69	10	-0,016	76,92	0,973	5,585	0,085	0,269
0,62	20	-0,104	76,92	1,715	1,859	0,330	-0,232
0,48	30	-0,378	76,92	1,848	0,203	0,645	-0,678
0,32	40	-0,738	76,92	1,817	-0,366	0,966	-1,103
0,16	50	-1,116	76,92	1,706	-0,766	1,274	-1,495
0,00	60	-1,494	76,92	1,534	-1,096	1,555	-1,842
0,75	0	0,000	82,44	0,000	5,147	0,000	0,750
0,74	10	-0,015	82,43	0,917	5,267	0,080	0,220
0,69	20	-0,093	82,39	1,633	1,810	0,314	-0,307
0,61	30	-0,372	82,44	1,768	0,231	0,614	-0,808
0,50	40	-0,740	82,44	1,744	-0,340	0,922	-1,277
0,37	50	-1,088	82,44	1,644	-0,727	1,217	-1,707
0,24	60	-1,468	82,44	1,486	-1,035	1,490	-2,081
0,80	0	0,000	87,97	0,000	4,880	0,000	0,700
0,79	10	-0,013	87,96	0,868	4,991	0,076	0,171
0,77	20	-0,078	87,95	1,543	1,722	0,297	-0,384
0,75	30	-0,231	87,96	1,679	0,196	0,582	-0,953
0,71	40	-0,435	87,96	1,663	-0,310	0,874	-1,484
0,63	50	-0,615	87,96	1,576	-0,666	1,157	-1,966
0,54	60	-0,819	87,95	1,433	-0,956	1,420	-2,384
0,85	0	0,000	93,50	0,000	4,647	0,000	0,650
0,84	10	-0,012	93,50	0,826	4,749	0,072	0,121
0,85	20	-0,059	93,51	1,445	1,600	0,280	-0,462
0,90	30	-0,066	93,50	1,576	0,254	0,547	-1,097
0,92	40	-0,057	93,52	1,575	-0,232	0,823	-1,699
0,90	50	-0,091	93,50	1,502	-0,582	1,092	-2,232
0,84	60	-0,119	93,50	1,376	-0,859	1,344	-2,692
0,90	0	0,000	99,05	0,000	4,442	0,000	0,600
0,88	10	-0,010	99,04	0,789	4,537	0,069	0,072
0,92	20	-0,035	99,09	1,340	1,447	0,264	-0,540
1,02	30	0,015	99,05	1,467	0,304	0,512	-1,225
1,09	40	0,082	99,05	1,478	-0,147	0,770	-1,874
1,13	50	0,176	99,07	1,422	-0,472	1,023	-2,464

1,13	60	0,348	99,05	1,314	-0,744	1,262	-2,973
0,95	0	0,000	104,60	0,000	4,261	0,000	0,550
0,93	10	-0,008	104,60	0,756	4,349	0,066	0,022
1,00	20	-0,008	104,67	1,229	1,307	0,248	-0,619
1,14	30	0,059	104,60	1,358	0,348	0,476	-1,343
1,25	40	0,129	104,60	1,378	-0,074	0,716	-2,028
1,32	50	0,204	104,60	1,337	-0,378	0,954	-2,650
1,34	60	0,287	104,62	1,248	-0,634	1,179	-3,191
1,00	0	0,000	110,16	0,000	4,098	0,000	0,500
0,98	10	-0,006	110,13	0,725	3,892	0,063	-0,028
1,08	20	0,017	110,16	1,118	1,185	0,233	-0,696
1,25	30	0,082	110,16	1,249	0,392	0,441	-1,454
1,39	40	0,143	110,16	1,280	-0,003	0,663	-2,168
1,48	50	0,194	110,16	1,253	-0,288	0,884	-2,815
1,53	60	0,229	110,16	1,182	-0,529	1,097	-3,374
1,05	0	0,000	115,73	0,000	3,951	0,000	0,450
1,04	10	-0,005	115,70	0,690	3,256	0,061	-0,080
1,16	20	0,037	115,73	1,013	1,040	0,217	-0,777
1,36	30	0,093	115,72	1,142	0,438	0,407	-1,559
1,52	40	0,139	115,73	1,184	-0,070	0,610	-2,298
1,63	50	0,169	115,73	1,172	-0,195	0,817	-2,964
1,69	60	0,177	115,73	1,118	-0,418	1,017	-3,535
1,10	0	0,000	121,29	0,000	3,819	0,000	0,400
1,09	10	-0,003	121,28	0,650	2,669	0,059	-0,136
1,24	20	0,053	121,29	0,915	0,922	0,201	-0,861
1,46	30	0,094	121,29	1,037	0,488	0,373	-1,658
1,64	40	0,127	121,29	1,091	0,146	0,559	-2,420
1,77	50	0,140	121,29	1,094	-0,098	0,751	-3,102
1,83	60	0,133	121,29	1,059	-0,307	0,939	-3,680
1,15	0	0,000	126,85	0,000	3,701	0,000	0,350
1,15	10	0,002	126,86	0,603	2,128	0,057	-0,197
1,33	20	0,065	126,86	0,822	0,830	0,185	-0,949
1,55	30	0,094	126,85	0,937	0,507	0,340	-1,755
1,76	40	0,110	126,85	1,001	0,225	0,510	-2,536
1,90	50	0,109	126,85	1,020	0,000	0,687	-3,230
1,97	60	0,109	126,88	1,002	-0,207	0,863	-3,821
1,20	0	0,000	132,42	0,000	3,595	0,000	0,300
1,22	10	0,010	132,42	0,549	1,627	0,054	-0,265
1,42	20	0,071	132,42	0,734	0,760	0,169	-1,041
1,65	30	0,092	132,42	0,843	0,504	0,307	-1,855
1,87	40	0,090	132,41	0,915	0,308	0,461	-2,645

2,02	50	0,087	132,42	0,950	0,087	0,625	-3,354
2,11	60	0,087	132,44	0,947	-0,112	0,790	-3,960
1,25	0	0,000	137,98	0,000	3,499	0,000	0,250
1,30	10	0,022	137,92	0,489	1,259	0,051	-0,340
1,52	20	0,072	137,98	0,649	0,712	0,152	-1,138
1,76	30	0,083	137,98	0,756	0,513	0,276	-1,960
1,97	40	0,072	137,97	0,833	0,370	0,415	-2,751
2,14	50	0,068	137,98	0,881	0,167	0,565	-3,478
2,25	60	0,064	138,01	0,893	-0,019	0,720	-4,100
1,30	0	0,000	143,54	0,000	3,413	0,000	0,200
1,38	10	0,031	143,55	0,424	1,056	0,047	-0,424
1,63	20	0,066	143,55	0,569	0,683	0,135	-1,242
1,87	30	0,068	143,55	0,675	0,533	0,244	-2,071
2,09	40	0,059	143,55	0,756	0,393	0,369	-2,865
2,27	50	0,049	143,54	0,813	0,247	0,507	-3,601
2,39	60	0,043	143,58	0,841	0,072	0,651	-4,240
1,35	0	0,000	149,11	0,000	3,336	0,000	0,150
1,47	10	0,036	149,11	0,357	0,908	0,041	-0,515
1,74	20	0,055	149,11	0,492	0,674	0,117	-1,355
1,99	30	0,050	149,11	0,599	0,550	0,212	-2,191
2,21	40	0,043	149,11	0,685	0,424	0,325	-2,992
2,40	50	0,033	149,11	0,748	0,299	0,450	-3,730
2,53	60	0,022	149,14	0,789	0,161	0,584	-4,380
1,40	0	0,000	154,67	0,000	3,265	0,000	0,100
1,57	10	0,034	154,67	0,289	0,812	0,035	-0,618
1,86	20	0,037	154,66	0,418	0,677	0,097	-1,479
2,13	30	0,033	154,66	0,527	0,570	0,180	-2,331
2,36	40	0,026	154,66	0,618	0,462	0,281	-3,142
2,55	50	0,017	154,67	0,688	0,348	0,395	-3,880
2,67	60	0,007	154,67	0,739	0,231	0,520	-4,523
1,45	0	0,000	160,23	0,000	3,201	0,000	0,050
1,70	10	0,020	160,22	0,218	0,768	0,027	-0,739
2,02	20	0,018	160,24	0,345	0,680	0,077	-1,633
2,31	30	0,013	160,24	0,457	0,600	0,147	-2,511
2,55	40	0,007	160,22	0,554	0,508	0,236	-3,333
2,74	50	0,001	160,23	0,634	0,405	0,340	-4,072
2,86	60	-0,004	160,24	0,695	0,291	0,456	-4,704
1,51	0	0,000	166,68	0,000	0,755	0,000	-0,008
2,00	10	0,000	166,68	0,131	0,744	0,011	-1,046
2,44	20	0,000	166,68	0,258	0,710	0,046	-2,057
2,81	30	0,000	166,68	0,378	0,654	0,101	-3,008

3,08	40	0,000	166,68	0,485	0,579	0,177	-3,860
3,27	50	0,000	166,68	0,579	0,485	0,270	-4,605
3,36	60	0,000	166,68	0,654	0,378	0,378	-5,204

Lampiran 8: Tabel KN's in meters

Tabel KN's in meters

Heel Draft	0	10	20	30	40	50	60
0,10	0	2,220	2,371	2,342	2,215	2,014	1,756
0,15	0	2,088	2,277	2,291	2,198	2,030	1,807
0,20	0	1,972	2,212	2,244	2,183	2,045	1,818
0,25	0	1,865	2,157	2,212	2,171	2,041	1,812
0,30	0	1,761	2,108	2,188	2,157	2,022	1,794
0,35	0	1,650	2,062	2,168	2,137	1,995	1,771
0,40	0	1,534	2,019	2,147	2,110	1,965	1,744
0,45	0	1,420	1,976	2,118	2,078	1,935	1,717
0,50	0	1,310	1,936	2,080	2,041	1,901	1,690
0,55	0	1,204	1,895	2,034	1,996	1,863	1,659
0,60	0	1,114	1,847	1,981	1,945	1,816	1,620
0,65	0	1,037	1,787	1,919	1,884	1,763	1,578
0,70	0	0,973	1,715	1,848	1,817	1,706	1,534
0,75	0	0,917	1,633	1,768	1,744	1,644	1,486
0,80	0	0,868	1,543	1,679	1,663	1,576	1,433
0,85	0	0,826	1,445	1,576	1,575	1,502	1,376
0,90	0	0,789	1,340	1,467	1,478	1,422	1,314
0,95	0	0,756	1,229	1,358	1,378	1,337	1,248
1,00	0	0,725	1,118	1,249	1,280	1,253	1,182
1,05	0	0,690	1,013	1,142	1,184	1,172	1,118
1,10	0	0,650	0,915	1,037	1,091	1,094	1,059
1,15	0	0,603	0,822	0,937	1,001	1,020	1,002
1,20	0	0,549	0,734	0,843	0,915	0,950	0,947
1,25	0	0,489	0,649	0,756	0,833	0,881	0,893
1,30	0	0,424	0,569	0,675	0,756	0,813	0,841
1,35	0	0,357	0,492	0,599	0,685	0,748	0,789
1,40	0	0,289	0,418	0,527	0,618	0,688	0,739
1,45	0	0,218	0,345	0,457	0,554	0,634	0,695
1,50	0	0,131	0,258	0,378	0,485	0,579	0,654