



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI PEMANFAATAN POMPA SENTRIFUGAL PADA  
KAPAL KERUK UNTUK MEMBANTU MANUVER KAPAL**

**SKRIPSI**

**ISMAIL SALEH**

**0806459223**

**FAKULTAS TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN**

**PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN**

**DEPOK**

**JULI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI PEMANFAATAN POMPA SENTRIFUGAL PADA  
KAPAL KERUK UNTUK MEMBANTU MANUVER KAPAL**

**SKRIPSI**

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

**ISMAIL SALEH**

**0806459223**

**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 : Ismail Saleh

NPM : 0806459223

Tanda Tangan :



Tanggal : Juli 2012

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Ismail Saleh  
NPM : 0806459223  
Program Studi : Teknik Perkapalan  
Judul Skripsi : Studi Pemanfaatan Pompa Sentrifugal pada Kapal Keruk untuk Membantu Manuver Kapal

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, M.T



Penguji : Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Sc, M. Eng



Penguji : Dr. Ir. Sunaryo, M.Sc



Penguji : Ir. Mukti Wibowo



Penguji : Ir. M. A. Talahatu, M.T



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 02 Juli 2012

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, atas berkat rahmat dan karunia-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini tepat waktu. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Perkapalan pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebanyak-banyaknya kepada:

1. Orang tua dan keluarga tercinta yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral.
2. Ir. Hadi Tresno Wibowo selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini;
3. Ir. Sunaryo, Ph.D, Ir. M. A. Talahatu, MT, Dr. Ir. Yanuar, M.Sc, M.Eng M.T, Ir. Mukti Wibowo, dan Dr. Ir. Agus Pamitran, M. Eng selaku dosen pada program studi Teknik Perkapalan yang telah mengajarkan ilmu dan pengalamannya;
4. Seluruh pihak di PT. Hamson Indonesia terutama Bapak Eddy Gundadi, Bapak Joko, dan Mas Zaenul yang telah memberikan banyak masukan.
5. Gunawan, S.T dan M.Baqi, S.T selaku asisten dosen yang telah meluangkan waktu untuk melakukan asistensi
6. Teman – teman jurusan Teknik Mesin dan Teknik Perkapalan, khususnya angkatan 2008 yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, semoga Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah disebutkan di atas. Semoga skripsi ini membawa manfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan.

Depok, Juli 2012



Ismail Saleh

Universitas Indonesia

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

---

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

Nama : Ismail Saleh  
NPM : 0806459223  
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 Pemanfaatan Pompa Sentrifugal pada Kapal Keruk untuk Membantu Manuver Kapal”**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas royalti noneksklusif 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 : Juli 2012

Yang menyatakan,

  
Ismail Saleh

## ABSTRAK

Nama : Ismail Saleh  
Program Studi : Teknik Perkapalan  
Judul : Studi Pemanfaatan Pompa Sentrifugal pada Kapal Keruk untuk Membantu Manuver Kapal

Kapal keruk adalah kapal yang berfungsi untuk mengambil sedimentasi di dasar air. Salah satu jenis kapal keruk yaitu kapal keruk tipe *Suction Dredger* yaitu kapal yang memakai pompa untuk menghisap sedimen dari dasar air. Pompa yang dipakai umumnya adalah pompa sentrifugal. Kapal keruk yang beroperasi di sungai umumnya tidak memiliki sistem propulsi. Untuk berpindah, kapal tersebut ditarik memakai kapal tunda. Pada saat ditarik menuju tempat tujuan terkadang kapal harus melewati sungai yang sempit dan berarus deras. Terlebih lagi saat melewati belokan sungai yang berarus deras. Sehingga terdapat risiko kecelakaan kapal karena kapal terbawa arus hingga menabrak tepi sungai atau kapal lainnya.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui apakah pompa sentrifugal yang telah ada pada kapal tersebut dapat dimanfaatkan untuk membantu manuver kapal ketika ditarik kapal tunda melewati belokan sehingga dapat mengurangi risiko kecelakaan dan sampai dengan aman. Manuver dilakukan dengan cara mengalirkan air dari pompa menuju nosel yang berada di belakang kapal. Arus air dari nosel untuk memberikan gaya dorong mirip dengan sistem propulsi waterjet. Selain itu juga untuk mengetahui bagaimana sistem perpipaan tambahan dari pompa ke nosel.

Kata kunci: Kapal Keruk, Pompa Sentrifugal, Nosel

## ABSTRACT

Name : Ismail Saleh  
Study Program: Naval Architecture  
Title : Studies on the Utilization of Centrifugal Pump in Dredger Ship to Assist Ship Maneuver

Dredger is a ship that serves to take the sediment at the bottom of the water. One type of dredger is Suction Dredger Type which use pumps to suck slurry from the bottom. Of water. The pump which generally used is a centrifugal pump. Dredgers operating in the river generally has no propulsion system. To move, the ship was withdrawn using tugboats. At the point of sometimes drawn toward the ship to cross the river is narrow and fast-flowing. Moreover bends as it passes through the fast-flowing river. So there is a risk of a boating accident because the boat drifted up to hit the riverbank or other vessel.

The study was conducted to determine whether the existing centrifugal pump on the vessel could be used to help maneuver the vessel when the tugs pulled through bends so as to reduce the risk of accidents and get there safely. Maneuver is done by pouring water from the pump to the nozzle behind the ship. Water flow from the nozzle to provide thrust propulsion system similar to the waterjet. In addition, to find out how the additional piping system from the pump to the nozzle.

Keywords : Dredger Ship, Centrifugal Pump, Nozzle

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	v
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACK .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GRAFIK .....	xii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Metode Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB 2 LANDASAN TEORI</b>	
2.1 Pompa .....	5
2.1.1 Jenis-jenis Pompa .....	5
2.2 Pompa Sentrifugal .....	7
2.2.1 Bagian-bagian Pompa SentrifugaL .....	7
2.2.2 Cara Kerja Pompa Sentrifugal .....	8
2.3 Kavitasi .....	8
2.4 Aliran Dalam Pipa .....	10
2.4.1 Persamaan kontinuitas .....	10
2.4.2 Persamaan Bernoulli .....	10
2.4.3 Head Kerugian ( $H_{loss}$ ) .....	11
2.5 Teori Momentum Aliran .....	15

2.5.1 Gaya Dorong .....	15
2.5.2 Daya Dorong Efektif .....	16
2.6 Daerah Pelayaran .....	16
<b>BAB 3 KAPAL DAN SISTIM POMPA</b>	
3.1 Data Kapal .....	19
3.2 Sistim Pompa .....	19
3.3 Instalasi Sistim Pipa Pompa .....	20
3.4 Nosel .....	22
3.5 Hambatan Kapal .....	23
<b>BAB 4 ANALISIS SISTIM</b>	
4.1 Head Pompa pada Sistim Pipa .....	26
4.1.1 Metode Penghitungan Head Sistim .....	27
4.2 Thrust yang Dibutuhkan .....	32
4.3 Debit yang Dibutuhkan .....	32
4.4 Efisiensi pada Sistim Pipa-Pompa .....	34
4.5 Manuver .....	35
<b>BAB 5 KESIMPULAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	39
5.2 Saran .....	39
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	40
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

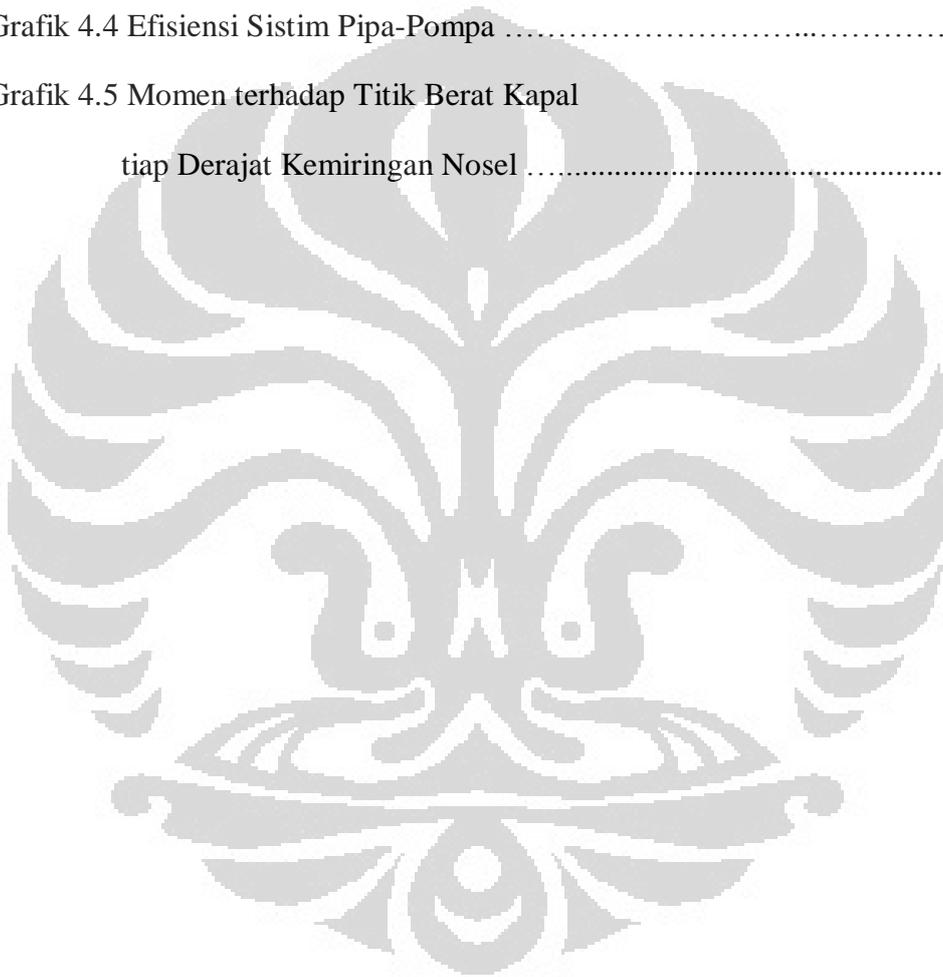
Gambar 2.1. Pembagian Jenis-jenis Pompa .....	5
Gambar 2.2 Bagian-bagian Pompa (Sahdev) .....	7
Gambar 2.3 NPSH .....	9
Gambar 2.4 Diagram Faktor Friksi Darcy .....	13
Gambar 2.5 <i>Different Column Head</i> .....	14
Gambar 2.6 DAS Sungai Asahan (Google Earth) .....	18
Gambar 3.1 Diagram <i>Performance</i> pompa .....	19
Gambar 3.2 Data Spesifikasi Mesin .....	20
Gambar 3.3 Saluran Pipa Hisap .....	21
Gambar 3.4 Saluran Pipa Buang .....	21
Gambar 3.5 Model Kapal pada Program Maxsurf .....	23
Gambar 3.6 Data Hidrostatik Kapal pada Program Maxsurf .....	24
Gambar 3.7 Hasil Perhitungan Hambatan Memakai Program Hullspeed .....	25
Gambar 4.1 Ilustrasi Sudut Nosel dan Lengan Kerja terhadap Titik Berat Kapal .....	36
Gambar 4.2 Sudut Nosel dan Lengan Kerja .....	37

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data Aliran Sungai Asahan .....	17
Tabel 4.1 Pajang Ekuivalen Perlengkapan Pipa .....	27
Tabel 4.2 Faktor Friksi tiap Debit dan Diameter .....	28
Tabel 4.3 Head-Debit Sistem Pipa .....	30
Tabel 4.4 Titik Operasi Pompa .....	31
Tabel 4.5 <i>Thrust</i> yang Dibutuhkan .....	32
Tabel 4.6 Debit tiap Kecepatan Kapal .....	33
Tabel 4.7 Interpolasi Kecepatan yang Dihasilkan .....	34
Tabel 4.8 Efisiensi Sistem Pipa-Pompa .....	35
Tabel 4.9 Titik Berat Kapal .....	36
Tabel 4.10 Momen tiap RPM dan Sudut Nosel .....	38

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Head-Debit Sistim Pipa .....	30
Grafik 4.2 Head-Debit-RPM Pompa dan Sistim Pipa (Titik Operasi Pompa) .....	31
Grafik 4.3 Kecepatan Kapal Vs Debit Pompa .....	34
Grafik 4.4 Efisiensi Sistim Pipa-Pompa .....	35
Grafik 4.5 Momen terhadap Titik Berat Kapal tiap Derajat Kemiringan Nosel .....	38



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang Masalah

Kapal keruk merupakan kapal yang berfungsi untuk mengambil atau memindahkan material yang berada di dasar perairan. Material yang bisa diambil antara lain endapan lumpur, pasir, bahan tambang dan lainnya. Oleh karena itu kapal keruk sering dipakai untuk mengeruk sungai, memperdalam jalur air pelabuhan, penambangan, reklamasi, pemasangan kabel dasar laut dan lainnya. Kapal keruk berdasarkan alat keruk terbagi menjadi kapal keruk penghisap (*suction dredger*), kapal keruk timba (*bucket dredger*), kapal keruk *backhoe* dan *water injection dredger*.

Pada kapal keruk tipe *Suction Dredger* (kapal keruk hisap), material dari dasar air diambil dengan cara dihisap melalui pipa hisap yang ditaruh ke dasar air. Pada ujung pipa hisap bisa dipasang gerigi pemotong (*cutter*) untuk memperkecil ukuran material yang akan masuk pipa hisap sehingga mempercepat proses pengerukan. Pompa hisap yang dipakai pada umumnya yaitu berjenis pompa sentrifugal. Material kerukan dari pompa kemudian ditampung di bak penampungan atau disalurkan ke tongkang. Pompa sentrifugal tersebut memiliki kapasitas hisap yang besar sehingga dapat menghisap material dari dasar perairan.

Kapal keruk tipe hisap yang beroperasi di perairan sungai umumnya berukuran kecil dan tidak memiliki alat propulsi sehingga pada saat beroperasi memerlukan kapal pendukung lainnya seperti tongkang, kapal tunda dan kapal pengangkut jangkar. Tongkang berfungsi untuk menampung hasil kerukan. Kapal pengangkut jangkar dipakai untuk membawa dan memindahkan jangkar. Jangkar tersebut berfungsi untuk mengubah arah kerukan kapal pada saat mengeruk. Sedangkan kapal tunda berfungsi untuk menarik kapal menuju lokasi pengerukan. Pada saat diangkut menggunakan kapal tunda, akan terdapat kesulitan bermanuver ketika melewati alur sungai yang sempit dan berarus deras, terlebih lagi untuk melewati belokan sungai. Sehingga terdapat

risiko kecelakaan akibat badan kapal terbawa arus hingga menabrak tepi sungai atau kapal lainnya.

Oleh karena itu, pompa yang telah ada pada kapal keruk dapat dimanfaatkan untuk membantu manuver kapal dengan cara membuat saluran pipa menuju nosel di bagian tengah belakang kapal. Sehingga ketika pipa buangan ditutup, aliran air dari pompa akan mengalir menuju nosel dan memberikan suatu gaya dorong. Gaya dorong tersebut menyerupai sistem propulsi *waterjet* dimana semburan air dipakai untuk menggerakkan kapal.

Gaya dorong tersebut kemudian dipakai untuk membantu manuver kapal ketika ditarik oleh kapal tunda pada saat melewati sungai yang sempit dan berarus deras. Sehingga dapat mengurangi resiko kecelakaan dan dapat mempercepat waktu untuk dapat sampai di lokasi tujuan.

### **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan paparan di atas maka permasalahan yang dapat diambil yaitu :

- a. Bagaimana sistem instalasi pipa dan alat bantu apa saja yang dibutuhkan dalam merealisasikan ide tersebut.
- b. Apakah pompa yang telah ada dapat dipakai untuk sistem tersebut.
- c. Seberapa besar gaya dorong yang dihasilkan agar mampu mengubah arah kapal.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari mengenai aplikasi pemanfaatan air buangan dari pompa hisap sentrifugal pada kapal keruk untuk menghasilkan gaya dorong kapal untuk membantu manuver kapal.

### **1.4 Batasan Masalah**

Untuk membatasi agar pembahasan permasalahan tidak meluas, maka perlu untuk memberikan batasan masalah sebagai berikut :

- Objek Penelitian adalah kapal keruk **ASAHAN RAYA I** tipe hisap pemotong (cutter suction dredger) yang sedang dibangun di sebuah workshop di Bekasi. Kapal memiliki ukuran utama  $L_{pp} = 23.22$  m,  $B = 6$

m dan  $T = 1$  m. Pompa hisap yang dipakai yaitu pompa berjenis sentrifugal dengan merek Warman tipe 12/10 FAH yang digerakan oleh mesin Caterpillar C18 tipe Propulsi.

- Penelitian dilakukan untuk mengetahui seberapa besar gaya dorong yang dihasilkan, alat bantu apa saja yang dibutuhkan untuk dapat mengaplikasikannya.
- Dalam penghitungan hambatan dan manuver kecepatan air dan angin dianggap diam (0m/s).

## **1.5 Metode Penelitian**

### **1.5.1 Pengumpulan Data**

Pengumpulan data dilakukan dengan cara mengambil data secara langsung di workshop di Bekasi dan dengan melakukan studi pustaka dari buku dan internet sesuai dengan tema yang dibahas.

### **1.5.2 Metodologi pengembangan sistem**

Sebagian data yang diperoleh diolah memakai program Hullspeed 11 dan Maxsurf 12 untuk mengetahui besar hambatan kapal.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

### **BAB I PENDAHULUAN**

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

### **BAB II LANDASAN TEORI**

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

### **BAB III KAPAL DAN SISTIM POMPA**

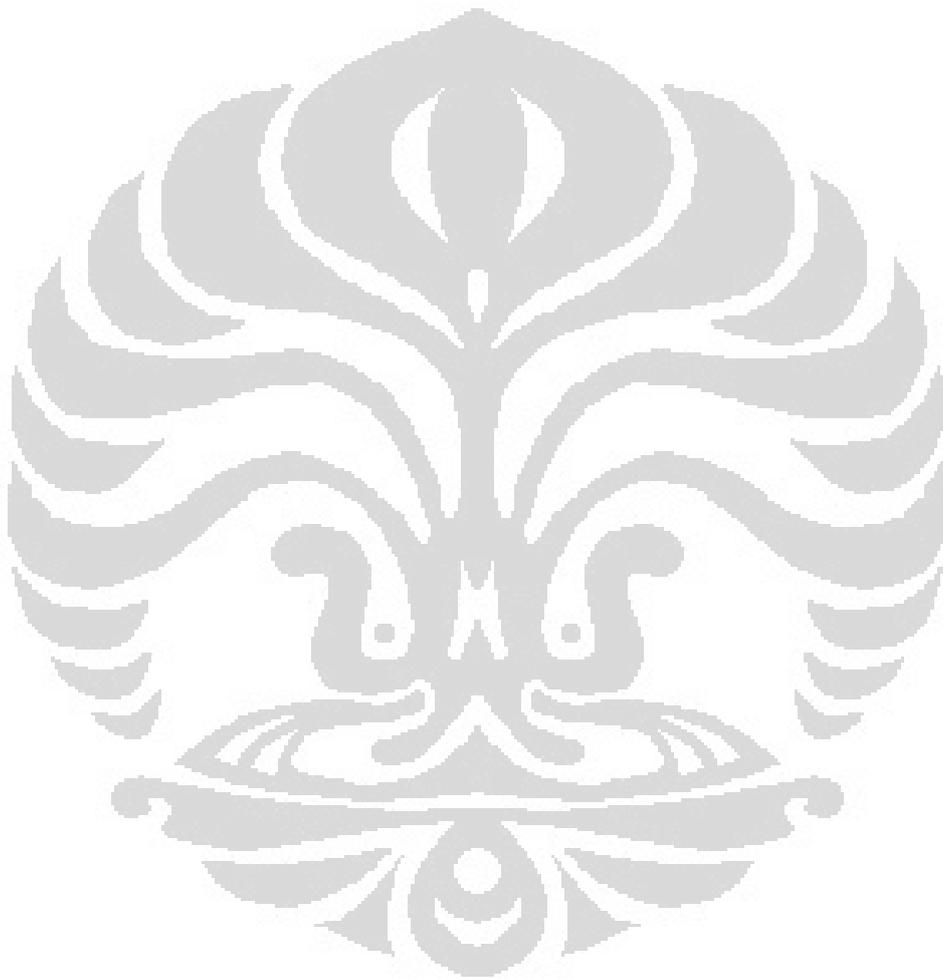
Bab ini berisi informasi mengenai kapal, penginstalasian sistem dan spesifikasinya.

#### **BAB IV ANALISIS SISTEM**

Bab ini berisi mengenai pengolahan data, menampilkan data penelitian, grafik yang didapat, hasil dari penelitian serta analisis dari hasil penelitian.

#### **BAB V KESIMPULAN**

Bab ini berisi mengenai kesimpulan dari analisa yang telah dilakukan dan saran dari penulis.



## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Pompa

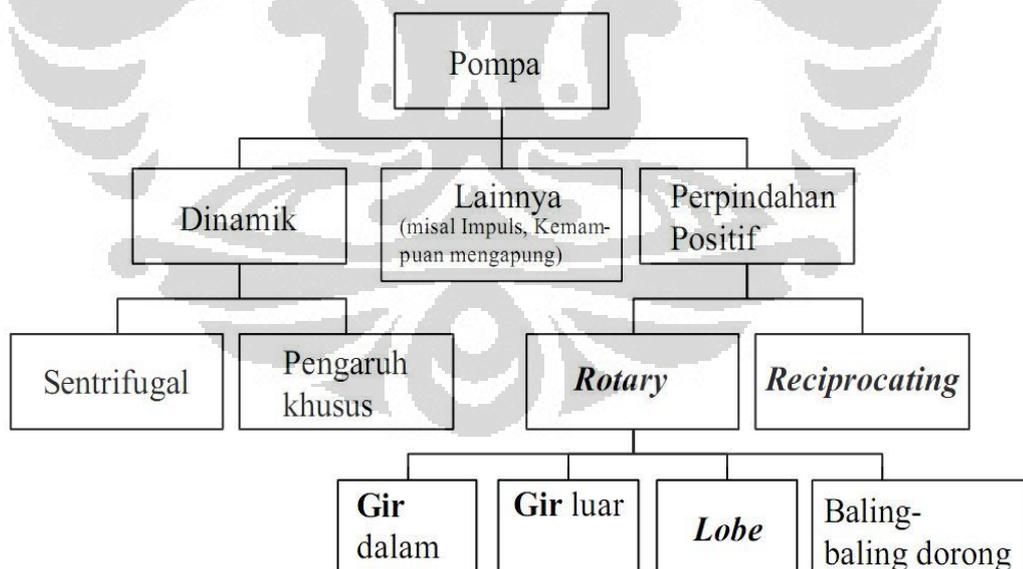
Pompa adalah suatu alat yang fungsi untuk memindahkan zat cair dari satu tempat ke tempat yang lain atau dari tempat yang rendah ke tempat yang lebih tinggi.

Pompa memiliki dua kegunaan utama:

- Memindahkan cairan dari satu tempat ke tempat lainnya (misalnya air dari akuifer bawah tanah ke tangki penyimpan air)
- Mensirkulasikan cairan sekitar sistim (misalnya air pendingin atau pelumas yang melewati mesin-mesin dan peralatan)

##### 2.1.1 Jenis-jenis Pompa

Pompa memiliki berbagai ukuran untuk penggunaan yang luas. Pompa dapat digolongkan menurut prinsip operasi dasarnya yaitu pompa dinamik (non positive displacement) dan pompa pemindahan positif (positive displacement).



Gambar 2.1 Pembagian Jenis-jenis Pompa

### **A. Pompa Perpindahan Positif**

Pompa perpindahan positif dikenal dengan caranya beroperasi: cairan diambil dari salah satu ujung dan pada ujung lainnya dialirkan secara positif untuk setiap putarannya. Pompa perpindahan positif digunakan secara luas untuk pemompaan fluida selain air, biasanya fluida kental.

Pompa perpindahan positif selanjutnya digolongkan berdasarkan cara perpindahannya:

- Pompa Reciprocating jika perpindahan dilakukan oleh maju mundurnya jarum piston. Pompa reciprocating hanya digunakan untuk pemompaan cairan kental dan sumur minyak.
- Pompa Rotary jika perpindahan dilakukan oleh gaya putaran sebuah gir, cam atau baling-baling dalam sebuah ruangan bersekat pada casing yang tetap. Pompa rotary selanjutnya digolongkan sebagai gir dalam, gir luar, lobe, dan baling-baling dorong dll. Pompa-pompa tersebut digunakan untuk layanan khusus dengan kondisi khusus yang ada di lokasi industri.

Pada seluruh pompa jenis perpindahan positif, sejumlah cairan yang sudah ditetapkan dipompa setelah setiap putarannya. Sehingga jika pipa pengantarnya tersumbat, tekanan akan naik ke nilai yang sangat tinggi dimana hal ini dapat merusak pompa.

### **B. Pompa Dinamik**

Pompa dinamik juga dikarakteristikan oleh cara pompa tersebut beroperasi. Impeler yang berputar mengubah energi kinetik menjadi tekanan atau kecepatan yang diperlukan untuk memompa fluida. Terdapat dua jenis pompa dinamik:

- Pompa sentrifugal merupakan pompa yang sangat umum digunakan untuk pemompaan air dalam berbagai penggunaan industri. Biasanya lebih dari 75% pompa yang dipasang di sebuah industri adalah pompa sentrifugal. Untuk alasan ini, pompa ini dijelaskan dibawah lebih lanjut.
- Pompa dengan efek khusus terutama digunakan untuk kondisi khusus di lokasi industri.

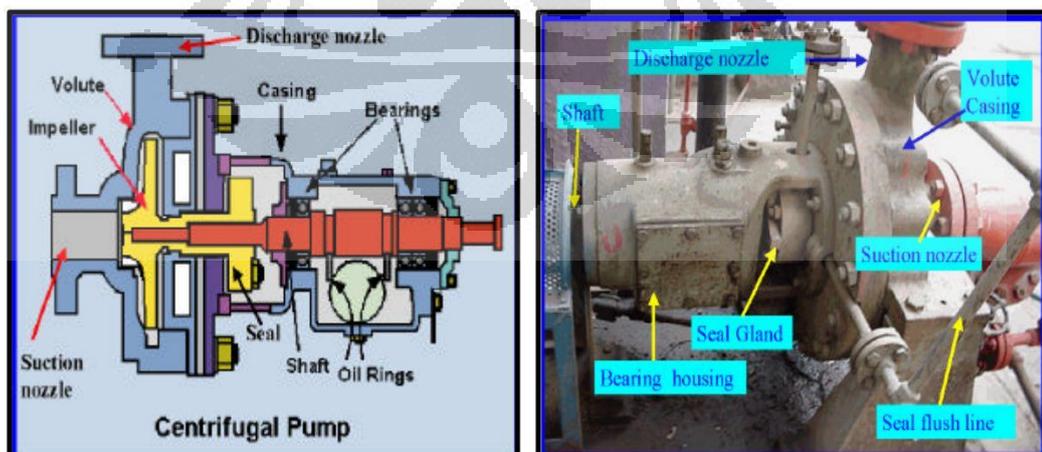
## 2.2 Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal adalah pompa non positive displacement yang memanfaatkan gerakan berputar impeler sehingga membawa fluida kearah luar pusat putaran (gaya sentrifugal). Pompa beroperasi dengan prinsip membuat perbedaan tekanan antara bagian masuk (suction) dengan bagian keluar (discharge). Dengan kata lain, pompa berfungsi mengubah tenaga mekanis dari suatu sumber tenaga (penggerak) menjadi tenaga kinetis (kecepatan), dimana tenaga ini berguna untuk mengalirkan cairan dan mengatasi hambatan yang ada sepanjang pengaliran.

Pompa sentrifugal terbagi lagi menjadi pompa radial dan pompa aksial. Perbedaannya yaitu pada sisi buang (discharge) pompa dimana pada pompa sentrifugal sisi buang pompa tegak lurus dengan sisi hisap sedangkan pada pompa aksial, sisi buang segaris dengan sisi hisap pompa. Umumnya orang menyebut pompa radial dengan sebutan pompa sentrifugal sedangkan pompa aksial disebut pompa aksial atau propeller.

Pompa sentrifugal (radial) memiliki karakteristik utama yaitu head besar. Sehingga banyak dipilih untuk industry. Sedangkan pompa aksial (propeller) memiliki karakteristik utama yaitu head rendah dengan aliran/debit besar. Sehingga dipilih untuk sistim pengairan atau dipakai pada sistim propulsi waterjet.

### 2.2.1 Bagian-bagian Pompa Sentrifugal



Gambar 1.2 Bagian-bagian Pompa (Sahdev)

Keterangan:

- Shaft (poros): Penerus gaya puntir dari mesin ke pompa
- Bearing (bantalan): Alat untuk menumpu beban poros sehingga menjaga posisi shaft agar tidak berubah selama berputar
- Oil rings: Sistem pelumasan shaft dan bearing
- Seal: Melindungi dari kebocoran air dalam volute melewati shaft
- Casing/Bearing Housing: Menutup dan melindungi bearing dan shaft dari kotoran
- Impeller: piringan berongga dengan sudu-sudu melengkung untuk mengubah energi gerak shaft menjadi energi kecepatan air selama berputar .
- Volute: Rumah impeller yang berfungsi untuk melindungi impeller dan mengarahkan aliran cairan menuju sisi buang pompa.
- Discharge nozzle: Saluran buang pompa
- Suction nozzle: Saluran hisap pompa

### **2.2.2 Cara Kerja Pompa Sentrifugal**

Impeller adalah semacam piringan berongga dengan sudu-sudu melengkung di dalamnya dan dipasang pada poros yang digerakkan oleh motor listrik, mesin uap atau turbin uap. Pada bagian samping dari impeller dekat dengan poros, dihubungkan dengan saluran isap, dan cairan (air, minyak, dll) masuk ke dalam impeller yang berputar melalui saluran tersebut. Dan karena gerakan berputar dari impeller maka cairan yang terdapat pada bagian tersebut ikut berputar akibat gaya sentrifugal yang terjadi, air didesak keluar menjauhi pusat, dan masuk dalam ruangan antara keliling impeller bagian luar dan rumah pompa, dan menuju ke saluran keluar.

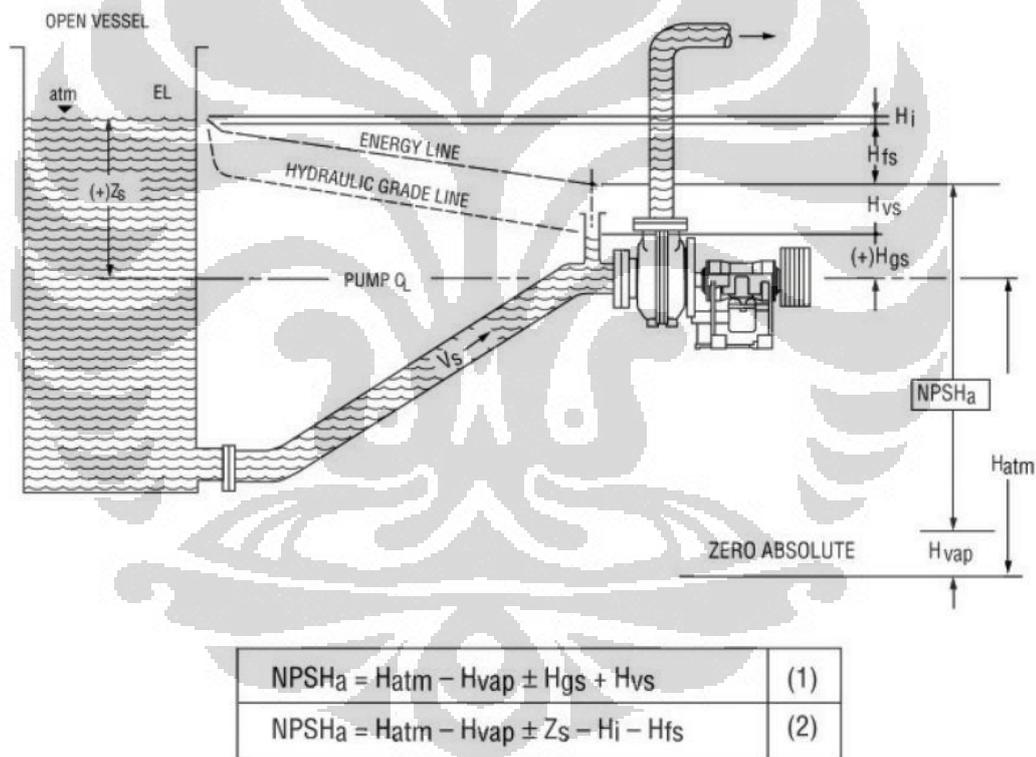
### **2.3 Kavitasasi**

kavitasasi adalah fenomena perubahan fase uap dari cair yang sedang mengalir, karena tekanannya berkurang hingga di bawah tekanan uap jenuhnya. Pada pompa bagian yang sering terjadi kavitasasi yaitu pada sisi isap pompa. Kavitasasi pada pompa mengakibatkan:

- Suara berisik dan getaran akibat gelembung-gelembung udara yang pecah
- Kapasitas pompa berkurang
- Head pompa berkurang
- Efisiensi pompa berkurang
- Kerusakan pada impeller

Kavitasi disebabkan oleh air yang menguap saat berada pada tekanan yang sangat rendah atau pada suhu yang tinggi. Untuk mengalirkan fluida, dibutuhkan tekanan pada sisi hisap yang disebut Net Positive Suction Head Required (NPSHr) untuk menghindari kavitasi. Oleh karena itu, besar Net positive Suction Head Available (NPSHa) harus lebih besar dari NPSHr .

$$\text{NPSHa} \geq \text{NPSHr}$$



Gambar 2.2. NPSH

- Hatm : Tekanan atmosfer di lokasi pompa: Head of mixture (feet)  
 Hi : Inlet Head Loss: Head of mixture (feet)  
 Hfs : Friction Head Loss pada saluran inlet: Head of mixture (feet)  
 Hvs : Head kecepatan pada pipa hisap pompa: Head of mixture (feet)  
 Hgs : Suction Gauge Head: Head of mixture (feet)

$H_{vap}$  : Tekanan uap absolute dari air yang dihisap pada suhu air tersebut:  
Head of mixture pumped (feet)

$Z_s$  : Head statis pompa di pipa hisap: jarak vertikal dari permukaan air ke poros pompa (feet)

Persamaan pertama dipakai untuk menguji NPSHa sistim pipa yang telah terpasang. Sedangkan persamaan kedua untuk mengetahui besar NPSHa dalam mendisain sistim pipa pompa. Nilai NPSHr dapat diketahui dari produsen pompa yang dipakai.

## 2.4 Aliran Dalam Pipa

Sistem perpipaan adalah suatu sistem yang digunakan untuk memindahkan fluida, baik cair, gas, maupun campuran cair dan gas dari suatu tempat ke tempat yang lain. Sistim perpipaan terdiri atas pipa, sambungan pipa (fitting), pompa, dan lainnya.

### 2.4.1 Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas diperoleh dari hukum kekekalan massa dimana pada saat mengalir, maka massa yang masuk sama dengan massa yang keluar.

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2$$

Untuk aliran fluida inkompresible  $\rho_1 = \rho_2$   
maka:

$$V_1 A_1 = V_2 A_2$$

Dimana:

$\rho$  = massa jenis fluida

$V$  = kecepatan aliran fluida

$A$  = luas penampang dalam pipa

### 2.4.2 Persamaan Bernoulli

Head pompa adalah energi per satuan berat yang harus disediakan untuk mengalirkan sejumlah zat cair yang direncanakan sesuai dengan kondisi instalasi pompa, atau tekanan untuk mengalirkan sejumlah zat cair, yang umumnya dinyatakan dalam satuan panjang.

Persamaan Bernoulli:

$$\left( Z + \frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} \right)_1 + H_{\text{pompa}} = \left( Z + \frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} \right)_2 + H_{\text{loss}}$$

$H_{\text{pompa}}$  yaitu head yang dibutuhkan untuk mengatasi hambatan pada sistem pipa, sehingga :

$$H_{\text{sistem}} = \left( \Delta Z + \Delta \frac{P}{\rho g} + \Delta \frac{V^2}{2g} \right) + H_{\text{loss}}$$

Dimana :

$\Delta Z = H_z =$  Head elevasi atau head statis (m)

$\Delta \frac{P}{\rho g} = H_p =$  Head tekanan (m)

$\Delta \frac{V^2}{2g} = H_v =$  Head kecepatan (m)

$H_{\text{loss}} =$  Head kerugian (m)

Head elevasi adalah jumlah jarak vertical antara poros pompa dengan permukaan air yang dihisap dan dibuang. Head tekanan adalah perbedaan tekanan antara tekanan pada sisi hisap dengan sisi buang. Apabila sisi hisap dan/atau sisi buang merupakan tangki tertutup maka head tekanan harus dimasukkan kedalam perhitungan. Sedangkan apabila sisi hisap atau sisi buang merupakan tangki terbuka maka head tekanan tidak mempengaruhi head sistem sehingga dapat diabaikan. Head kecepatan merupakan perbedaan kecepatan perubahan ketinggian permukaan air. Apabila ketinggian permukaan tetap, maka head dapat diabaikan.

### 2.4.3 Head Kerugian ( $H_{\text{loss}}$ )

Head kerugian ( $H_{\text{loss}}$ ) yaitu head untuk mengatasi kerugian kerugian yang terdiri dari kerugian gesek akibat aliran di dalam perpipaan, dan head kerugian akibat peralatan perpipaan seperti belokan-belokan (elbow), percabangan, dan katup (valve).

$$H_{\text{loss}} = H_L + H_{LM}$$

Dimana:

$H_L =$  Head loss mayor

$H_{LM} =$  Head loss minor

Head loss mayor disebut juga sebagai kerugian gesek dimana aliran fluida cair yang mengalir di dalam pipa adalah fluida viskos sehingga faktor gesekan fluida dengan dinding pipa tidak dapat diabaikan. Kerugian gesek terjadi pada aliran fully develop dan melalui pipa yang lurus dan luas penampang konstan dan posisi horisontal.

persamaan Darcy:

$$H_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

Dimana:

$f$  = koefisien kerugian gesek

$L$  = panjang pipa

$D$  = diameter pipa

$V$  = kecepatan rata-rata aliran

$g$  = percepatan gravitasi

Perhitungan kerugian gesek di dalam pipa dipengaruhi oleh pola aliran, untuk aliran laminar dan turbulen akan menghasilkan nilai koefisien kerugian gesek yang berbeda. Untuk itu harus diketahui besar Reynol Number ( $N_R$ ) agar mengetahui jenis aliran dalam pipa.

$$N_R = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{V D}{\nu}$$

Dimana:

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

$V$  = kecepatan fluida ( $\text{m/s}$ )

$D$  = diameter pipa ( $\text{m}$ )

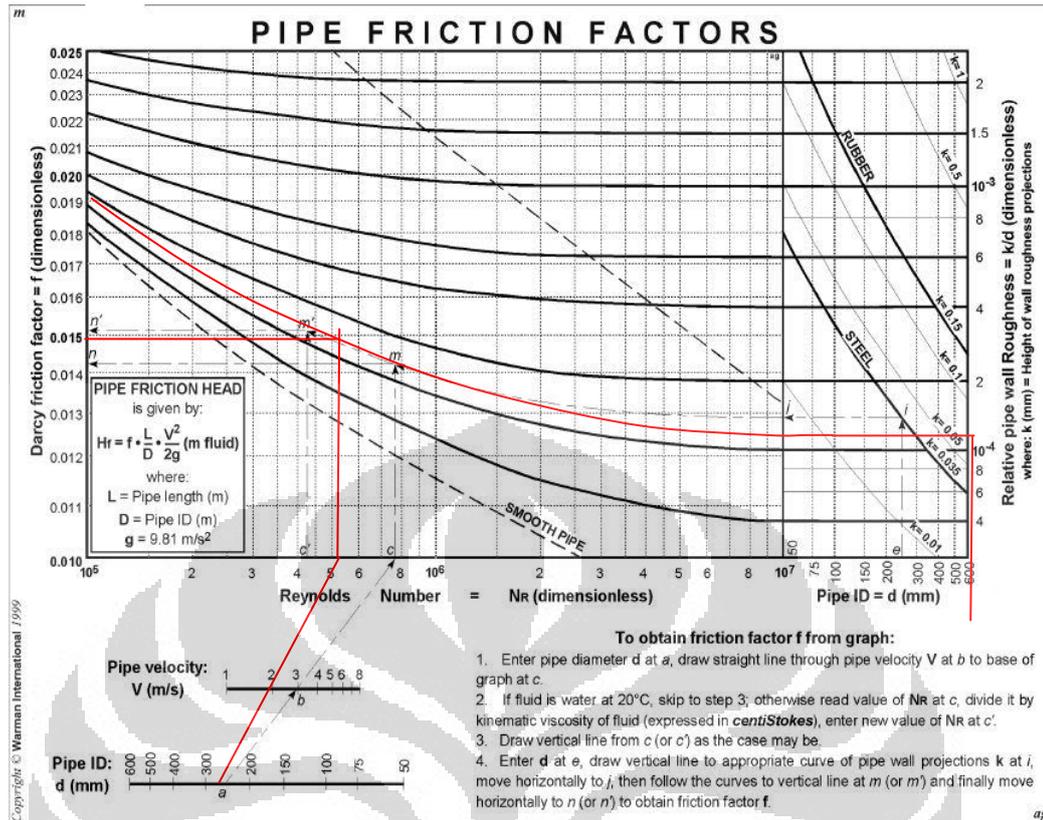
$\mu$  = viskositas dinamik fluida ( $\text{Ns/m}^2$ )

$\nu$  = viskositas kinematik ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

Apabila  $N_R < 2300$  maka aliran di dalam pipa berupa aliran laminar, sehingga:

$$f = \frac{64}{N_R}$$

Sedangkan jika  $N_R > 4000$  (aliran turbulen), besar koefisien gesek ( $f$ ) dapat diketahui dari diagram moody dengan variabel perbandingan panjang dan diameter ( $\frac{L}{D}$ ) dan perbandingan kekasaran pipa dengan diameter ( $\frac{\epsilon}{D}$ ).



Gambar 2.3. Diagram Faktor Friksi Darcy

Untuk mendapatkan faktor friksi:

1. Pada pojok kanan bawah, buat garis vertikal ke atas pada diameter pipa hingga ke garis material pipa yang dipakai.
2. Buat garis horisontal ke kiri pada titik pertemuan tersebut hingga ke batas nilai reynold number ( $N_R$ ).
3. Buat garis mengikuti garis ke kiri mengikuti lekukan garis.
4. Pada pojok kiri bawah terdapat diagram garis diameter pipa dan kecepatan aliran. Buat garis lurus mulai dari diameter pipa melewati kecepatan aliran pada pia hingga ke garis besar  $N_R$ .
5. Buat garis vertikal hingga ke pertemuan garis pada langkah nomor 3.
6. Buat garis horisontal ke kiri agar mendapatkan besar faktor friksi.

Contoh untuk diameter  $D = 0.300$  m, kecepatan aliran  $V = 1.5726$  m/s didapat faktor friksi  $f = 0.015$

Head loss minor disebut juga kerugian sambungan dimana kerugian terjadi karena fluida melewati sambungan, percabangan, belokan, katup dan lainnya.

$$H_{LM} = n k \frac{V^2}{2g}$$

Dimana:

$n$  = jumlah valve/fitting/sambungan dll untuk diameter yang sama

$k$  = koefisien kerugian tiap perlengkapan pipa

$V$  = rata – rata kecepatan

$g$  = percepatan gravitasi

Rumus pada perhitungan head loss minor dan head loss mayor memiliki kesamaan, sehingga besar ( $k$ ) bisa disamakan dengan  $f \frac{L}{D}$

$$k = f \frac{L}{D}$$

Sehingga

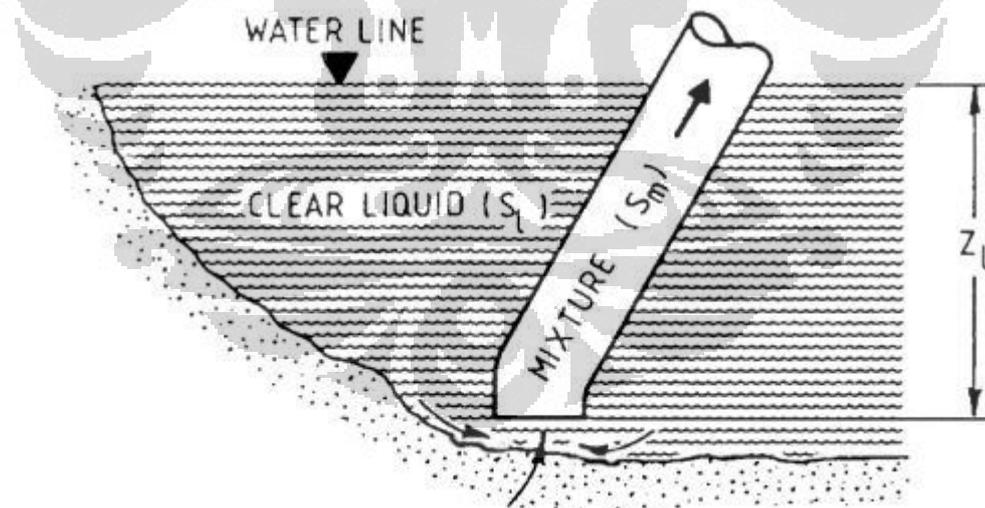
$$H_{LM} = f \cdot \frac{L_e}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Dimana:

$L_e$  adalah panjang pipa ekuivalen untuk besar ( $k$ )

Oleh karena itu untuk mencari  $H_{loss}$  dapat memakai satu persamaan, yaitu:

$$H_{Loss} = f \cdot \frac{L_e}{D} \frac{V^2}{2g}$$



Gambar 2.4. Different Column Head

Pada perhitungan Head sistim untuk kapal keruk perlu ditambah  $Z_c$  sebagai penambahan  $H_{loss}$  akibat adanya saluran inlet yang masuk ke dalam air untuk menarik material yang bukan air

$$Z_c = Z_i + \frac{S_m - S_i}{S_m}$$

Dimana:

$Z_i$  = jarak dari permukaan air ke ujung inlet

$S_m$  = specific gravity dari campuran air dan material lain

$S_i$  = specific gravity dari air

## 2.5 Teori Momentum Aliran

Sesuai dengan hukum ketiga Newton mengenai gerakan yang menyatakan bahwa reaksi yang diterima akan sama besar dengan aksi yang diberikan tetapi dengan arah yang berlawanan. Sebagai contoh ketika kita mendayung ke belakang maka kapal akan bergerak ke depan. Aksi gaya dorong air ke belakang akan menyebabkan gaya dorong ke depan. Kecepatan yang dihasilkan akan dipengaruhi oleh hambatan yang dimiliki kapal terhadap air dan besar gaya dorong oleh air.

### 2.5.1 Gaya Dorong

Pengukuran daya dorong dan torsi dilakukan dengan menggunakan pendekatan hukum kekekalan momentum.

Persamaan mometum :

$$P = M V$$

Gaya total yang diberikan oleh aliran air sama dengan perubahan momentum yang diberikan.

$$\Sigma \vec{F} = \frac{\Delta \vec{P}}{\Delta t}$$

$$\Sigma \vec{F} = \frac{m \cdot \Delta V}{\Delta t} = \frac{m}{\Delta t} \cdot \Delta V$$

$$F = \dot{m} \cdot \Delta V$$

( $\dot{m}$ ) pada persamaan diatas adalah massa air yang dikeluarkan pada waktu tertentu.

Dimana:

$$\dot{m} = \rho Q$$

maka:

$$F = \rho Q (V_1 - V_0)$$

Atau

$$F = \rho \cdot A_n \cdot V_1 \cdot (V_1 - V_0)$$

Dimana:

$F$  = Gaya dorong (N atau  $\text{kgm/s}^2$ )

$\dot{m}$  = Laju aliran massa fluida ( $\text{kg/s}$ )

$\rho$  = Masa jenis fluida kerja ( $\text{kg/m}^3$ )

$A_n$  = Luas penampang outlet nosel ( $\text{m}^2$ )

$V_1$  = Kecepatan aliran air keluar relative terhadap kapal ( $\text{m/s}$ )

$V_0$  = Kecepatan aliran air masuk saluran inlet relatif terhadap kapal (besarnya mendekati kecepatan kapal) ( $\text{m/s}$ )

Akan tetapi, teori momentum mengabaikan pengaruh – pengaruh sekunder yang juga berperan dalam pencapaian efisiensi propulsif. Oleh karena itu teori ini digunakan sebagai hukum dasar untuk penghitungan, tetapi selanjutnya harus dikoreksi dengan pengaruh praktis di lapangan.

### 2.5.2 Daya Dorong Efektif

Daya dorong efektif ( $P_E$ ) adalah besarnya Daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan kapal dengan kecepatan tertentu. Daya dorong yang dihasilkan harus mampu mengatasi beban tahanan aliran agar dapat mencapai kecepatan yang direncanakan.

Persamaan Daya dorong efektif adalah :

$$P_E = R_T \cdot V_s$$

Pada kondisi ideal maka harga  $R_T$  akan sama dengan  $F$  sehingga :

$$P_E = F \cdot V_s$$

Dimana:

$V_s$  = kecepatan kapal

## 2.6 Daerah Pelayaran

Kapal keruk ini beroperasi di kawasan Sungai Asahan. Sungai Asahan adalah sebuah sungai di Sumatra Utara, Indonesia. Sungai ini mengalir dari mulut Danau Toba, melewati Porsea di Kabupaten Asahan dan berakhir di Teluk Nibung, Selat Malaka.

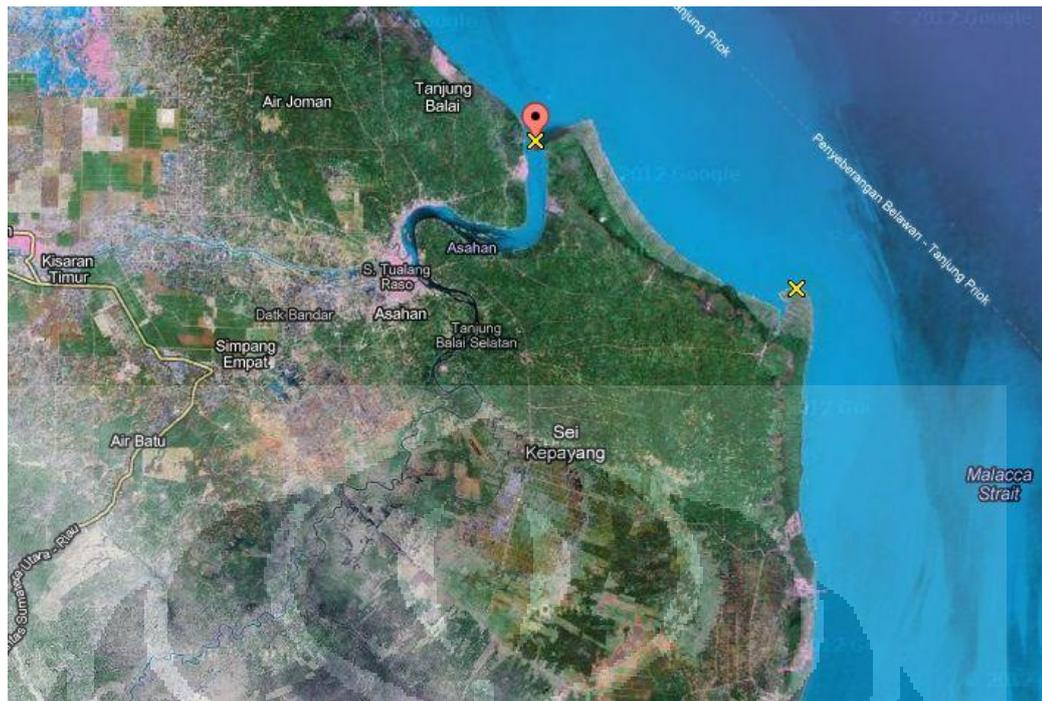
DAS Asahan terletak di Provinsi Sumatera Utara. DAS Asahan mencakup Danau Toba yang menjadi hulunya berikut Sungai Asahan sebagai outlet sungai utamanya. Panjang sungai Asahan 147 km dengan enam buah anak sungai

utamanya. Luas dari DAS Asahan ini mencapai 3.741 km<sup>2</sup> dimana hulunya berasal dari Danau Toba dan mengalirkan sungai hingga ke Selat Malaka. Rata-rata curah hujan yang ada di DAS Asahan yaitu berkisar 2.112 mm per tahun. Kota utama yang dilingkupi oleh DAS Asahan diantaranya Parapat, Porsea, Balige, Kisaran, dan Tanjung Balai. Titik ketinggian tertinggi di DAS Asahan yaitu Gunung Dolok Sibutan dengan tinggi 2.457 mdpl sedangkan yang terendah terdapat di Tanjung Jumpul dengan ketinggian 0 mdpl.

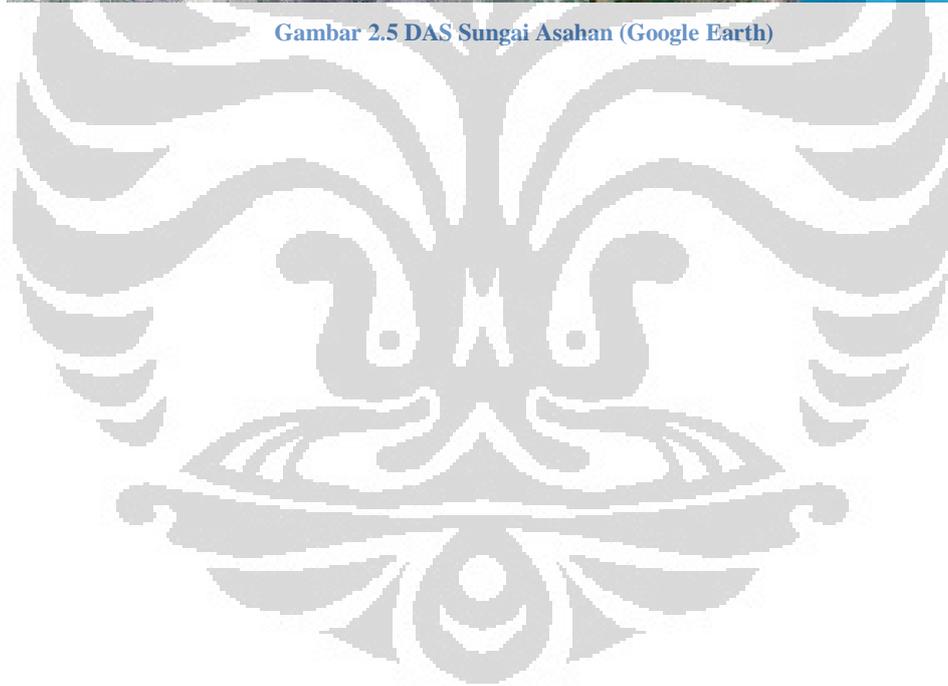
**Table of Basic Data**

Name : Asahan River		Serial No. : Indonesia-4
Location : Sumatra Island, Indonesia	N 02° 15' 00" ~ 03° 03' 00"	E 98° 25' 10" ~ 99° 51' 30"
Area : 3,741 km <sup>2</sup>	Length of main stream : 147 km	
Origin : Toba Lake	Highest point : Mt. Dolok Sibutan (2,457 m)	
Outlet : Mollaca Strait	Lowest point : Tanjung Jumpul (0 m)	
Main geological features : Main basaltic rocks		
Main tributaries : Silang River (372 km <sup>2</sup> ), Silau River (1,275 km <sup>2</sup> ), Nantalu River (254 km <sup>2</sup> ), Masihi River (133 km <sup>2</sup> ), Luran River (70 km <sup>2</sup> ), Baru River (45 km <sup>2</sup> )		
Main reservoirs : Toba Lake		
Mean annual precipitation : 2,112 mm (basin average)		
Mean annual runoff : 155 m <sup>3</sup> /sec at Asahan-Puloraja (1,012 km <sup>2</sup> ) (1978-1991)		
Population : 889,997 (1992)	Main cities : Parapat, Porsea, Balige, Kisaran, Tanjung Balai	
Land use : Forest (35%), Rice Paddy (10%), Other agriculture (50%), Urban (5%) (1985)		

**Tabel 2.1 Data Aliran Sungai Asahan**



Gambar 2.5 DAS Sungai Asahan (Google Earth)



## BAB III

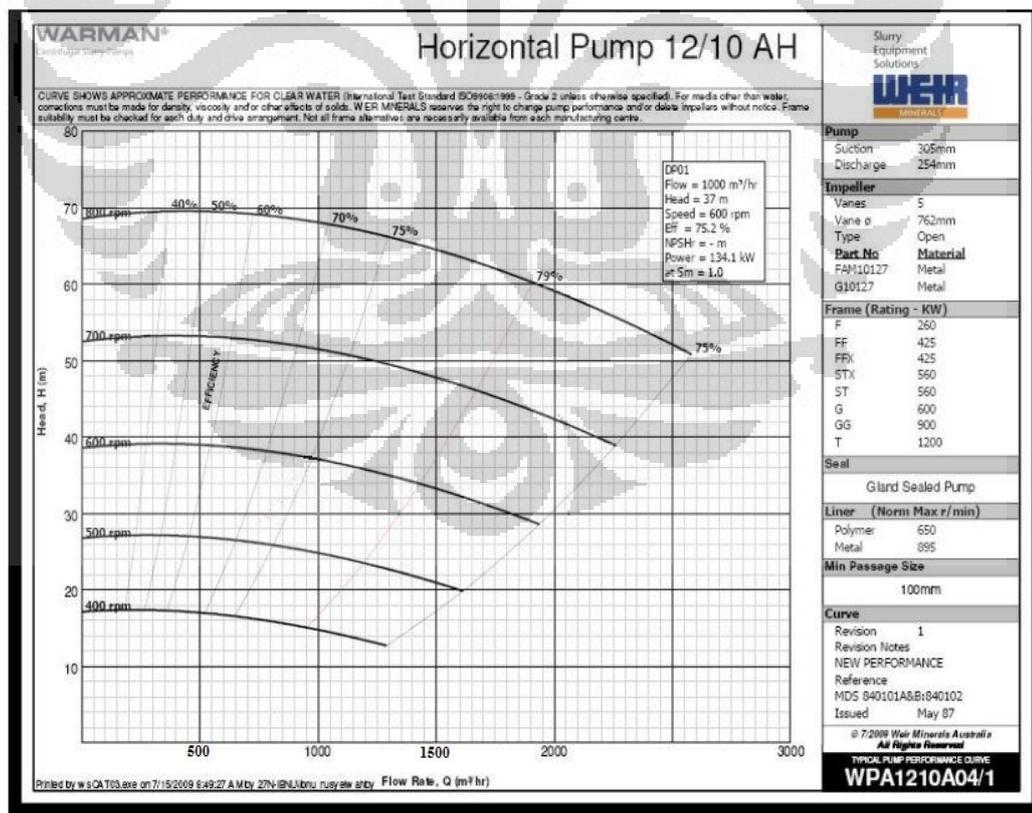
### KAPAL DAN SISTIM POMPA

#### 3.1 Data Kapal

Kapal objek penelitian adalah KM Asahan 1 kapal keruk jenis *cutter suction dredger* yang beroperasi di kawasan aliran sungai Asahan, Sumatera Utara. Ukuran utama kapal yaitu: LPP = 23.22 m, Lwl = 23.22 m, B = 6 m, H = 1.5 m, T = 1 m dan displacement kapal = 109 ton

#### 3.2 Sistim Pompa

Kapal keruk jenis *cutter suction dredger* adalah kapal keruk yang beroperasi dengan cara menghisap memakai pompa. Pompa yang umum dipakai adalah pompa jenis sentrifugal. Kapal objek penelitian memakai pompa sentrifugal merek Warman tipe 12/10 FAH. Pompa tersebut digerakkan oleh mesin propulsi Caterpillar C18 Acert A rating, 448 BKW, 600 Hp, 1800 RPM. Poros mesin caterpillar melalui gearbox dengan rasio 1/3 dan coupling sebelum ke pompa. Oleh karena itu, pompa hanya dapat beroperasi pada dibawah 600 RPM.



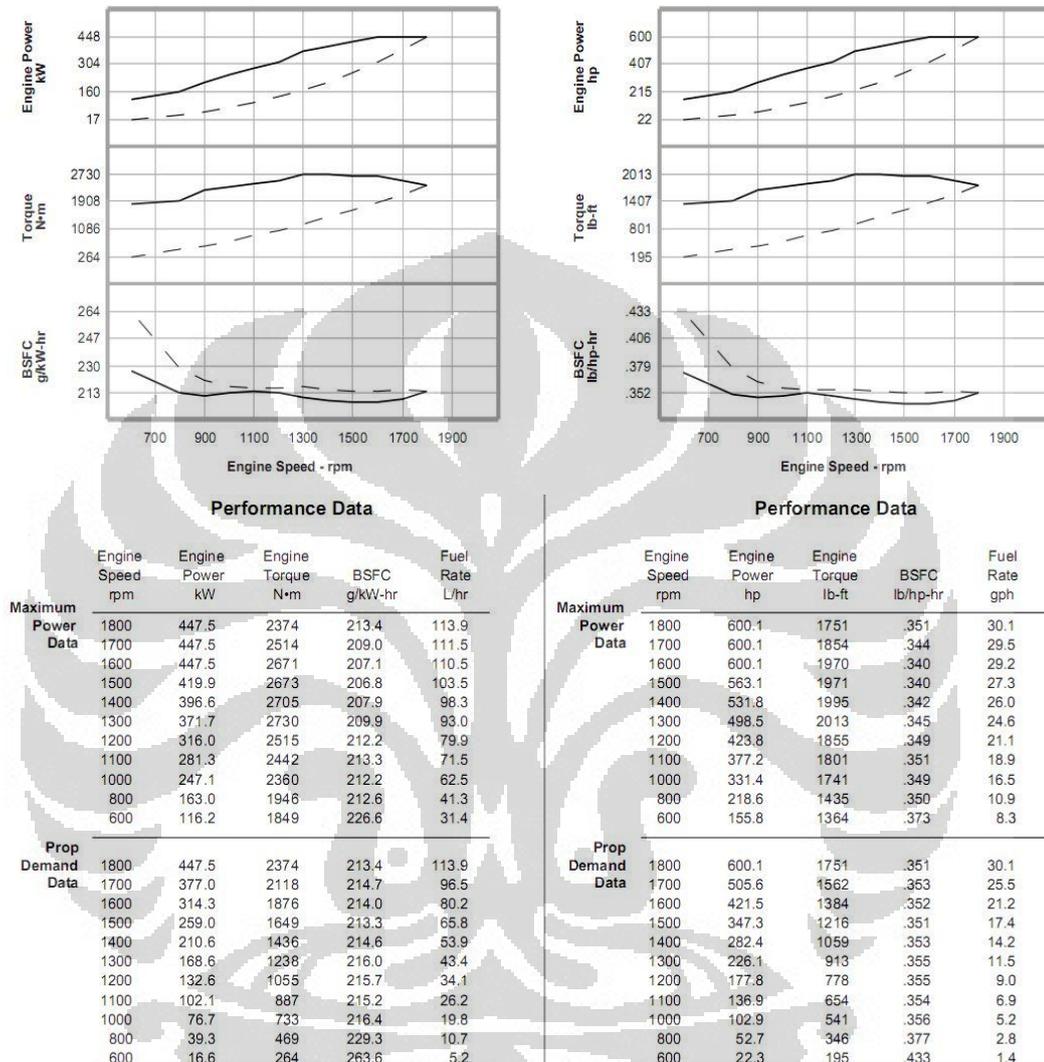
Gambar 3.1 Diagram Performace Pompa



## C18 ACERT™ MARINE PROPULSION

448 bkW (600 bhp)

A Rating — 448 bkW (600 bhp) @ 1800 rpm  
DM9571-00



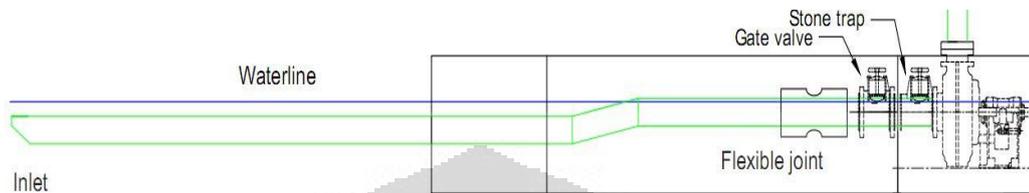
Gambar 3.2 Data Spesifikasi Mesin

### 3.3 Instalasi Sistem Pipa Pompa

Sistem yang dipakai berdasarkan sistem pipa alat keruk pada kapal Objek. Sistem terdiri dari sistem pipa inlet (Suction), sistem pompa, sistem pipa outlet (discharge), dan pipa nosel. Diameter inlet pompa adalah 300 mm sedangkan outletnya 250 mm. Untuk dapat dipakai dalam membantu manuver kapal maka sistem pipa dicabangkan ke arah nosel.

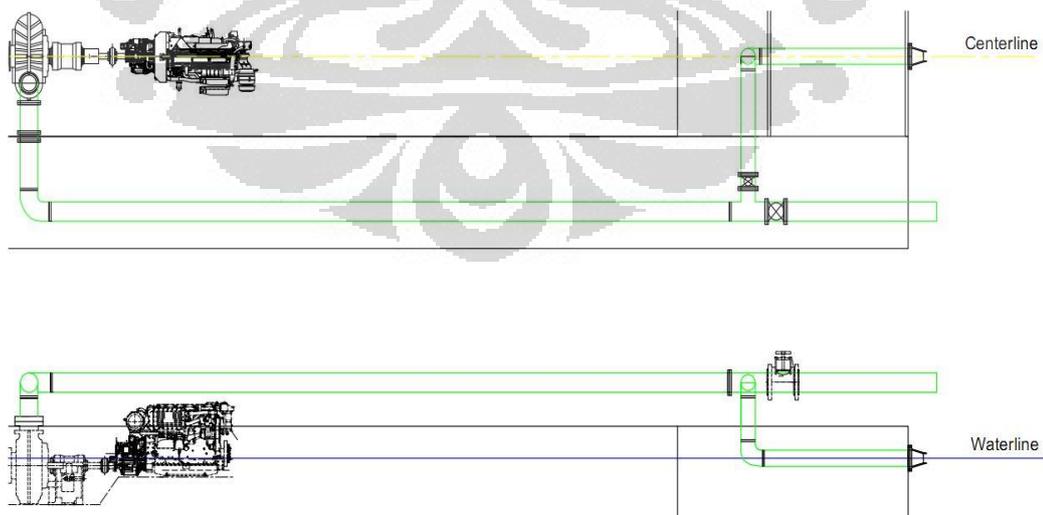
Inlet dimulai dari mulut hisap pada sisi hisap di dalam gerigi pemotong di kedalaman 0.3094 m dari permukaan air, kemudian mengalir pada pipa besi

schedule 40 dengan diameter 300 mm secara horisontal. Kemudian pipa naik sehingga muncul sedikit di permukaan air. Lalu terhubung dengan flexible joint dari material karet. Flexible joint berfungsi agar pipa dapat diturunkan ke dasar air. Kemudian terdapat Gate valve dan Stone trap lalu masuk ke inlet pompa. Pipa hisap dari inlet hingga ke pompa berjarak 13.998 m.



**Gambar 3.3 Saluran Pipa Hisap**

Outlet pompa dengan diameter 250 mm kemudian tersambung dengan pipa discharge berdiameter 300 mm dengan arah vertikal sepanjang 0.5283 m. Lalu pipa berbelok 90<sup>0</sup> mendatar kearah kiri kapal (PS) sepanjang 1.667 m. Pipa disambung dengan flens untuk melewati sekat kapal. Kemudian pipa belok 90<sup>0</sup> mengarah ke belakang kapal sepanjang 15.74 m. Pada jarak 2.775 m dari buritan kapal, terdapat percabangan pipa T mendatar mengarah ke tengah kapal dengan diameter utama 0.3 m dan diameter cabang 0.25 m. Posisi percabangan diatur agar tidak mengganggu perlengkapan lainnya. Pada pipa setelah percabangan T diarahkan percabangan utama dan anak terdapat Gate valve untuk mengatur arah aliran air dari pompa.



**Gambar 3.4 Saluran Pipa Buang**

Penempatan nosel dibagian tengah belakang kapal mempertimbangkan beberapa faktor, antara lain:

- Nosel tidak ditempatkan di sisi kiri dan kanan kapal karena pemasangannya membutuhkan biaya tinggi karena akan memakai dua gate valve, dua nosel dan pipa yang lebih panjang. Selain itu, juga harus menembus ballast tank.
- Nosel tidak ditempatkan di bagian belakang ponton kiri dan kanan karena terdapat Spud.

Aliran pada percabangan anak merupakan aliran menuju nosel. Pipa untuk aliran nosel memakai pipa dengan diameter lebih kecil dari ukuran pipa utama agar mengurangi berat pipa dan mengurangi sudut nosel. Pipa mengarah ke garis tengah kapal sepanjang 2.422 m kemudian turun hingga waterline sepanjang 1.18 m. Setelah itu, pipa mendarat ke arah buritan kapal sepanjang 2.775 m. Pada lokasi tersebut dipasang nosel untuk membantu manuver kapal. Pada nosel terdapat alat untuk mengubah arah aliran dari nosel.

### 3.4 Nosel

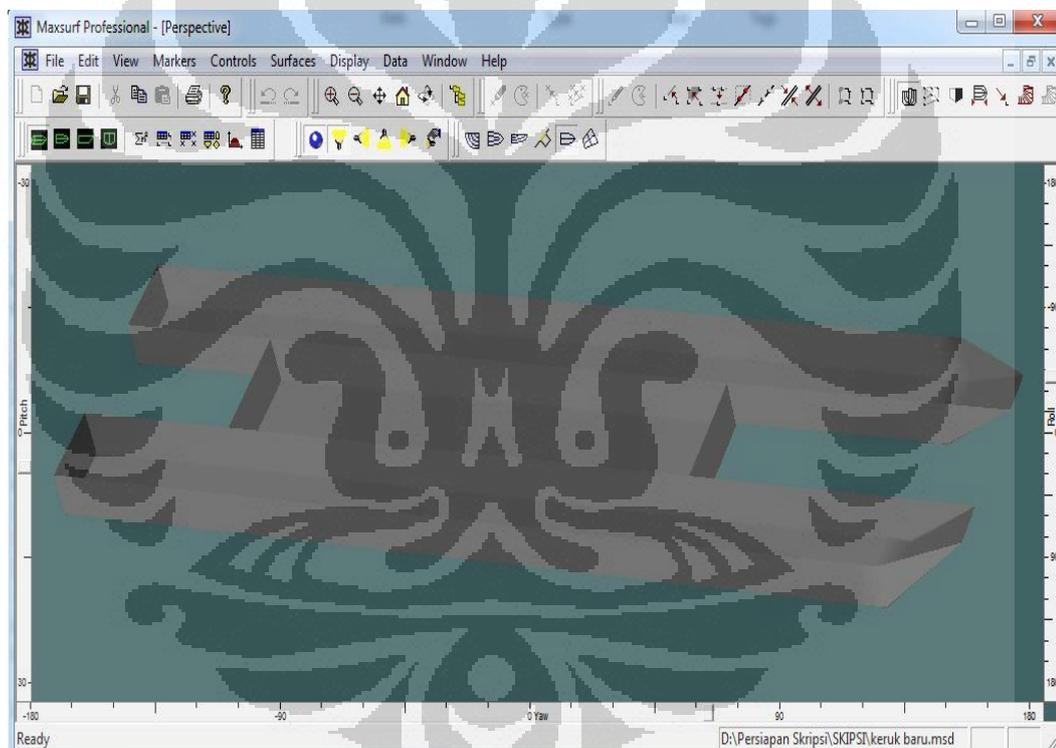
Perancangan nosel disesuaikan dengan kebutuhan di lapangan. Spesifikasi nosel harus disesuaikan dengan beban aliran yang diberikan. Begitu pula dengan alat pengubah aliran air. Material yang dipakai sebaiknya yang kuat dan tahan karat seperti kuningan. Tenaga penggerak alat pengubah arah aliran nosel bisa yang sederhana seperti sistim katrol dengan kawat baja atau memakai sistim piston hidrolik.

Spesifikasi nosel dalam perencanaan sistim bahasan yaitu. Panjang nosel beserta alat pengubah arah adalah 0.4 m dengan diameter nosel 0.16 dan sudut nosel  $27^{\circ}$ . Ukuran diameter nosel mengikuti ukuran nosel pada nosel waterjet Hamilton 1031N dengan ukuran diameter pipa buang yang sama. Sudut maksimum pengarah aliran nosel adalah  $33^{\circ}$  ke kiri dan ke kanan. Untuk berputar dengan sudut  $33^{\circ}$  ke kiri atau ke kanan, maka batang engkol pengubah arah nosel harus berputar  $37^{\circ}$  (Lihat lampiran 3). Perancangan nosel dan alat pengubah arah nosel masih belum mendetail. Untuk itu perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai rancangan nosel yang sesuai.

### 3.5 Hambatan Kapal

Hambatan kapal dihitung untuk mengetahui berapa gaya dorong efektif yang bisa diberikan oleh nosel pada arah lurus ke belakang. Penghitungan hambatan dimulai dengan membuat model memakai program Maxsurf 11. Kemudian menghitung hambatan dengan memakai program Hullspeed 11. Dengan mengisi data data utama kapal sebenarnya.

Model pada program Maxsurf yaitu lambung kapal dari garis air (draft) hingga ke base line. Sistem pipa inlet pompa dan struktur penahannya tidak dibuat karena tidak bisa dibuat pada program tersebut. Akan tetapi, akan menjadi pertimbangan dalam penentuan besar hambatan kapal.



Gambar 3.5 Model Kapal pada Program Maxsurf

Hydrostatics at DWL

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	108.261	tonne
2	Volume	108.261	m <sup>3</sup>
3	Draft to Baseline	1	m
4	Immersed depth	1	m
5	Lwl	23.22	m
6	Beam wl	6	m
7	WSA	287.926	m <sup>2</sup>
8	Max cross sect area	5.988	m <sup>2</sup>
9	Waterplane area	78.266	m <sup>2</sup>
10	Cp	0.779	
11	Cb	0.777	
12	Cm	0.998	
13	Cwp	0.562	
14	LCB from zero pt	-0.763	m
15	LCF from zero pt	-0.745	m
16	KB	0.504	m
17	KG	0	m
18	BMt	2.205	m
19	BMI	14.244	m
20	GMt	2.709	m
21	GMI	14.748	m
22	KMt	2.709	m
23	KMI	14.748	m
24	immersion (TPc)	0.783	tonne/cm
25	MTc	0.688	tonne.m
26	RM at 1deg = GMT.Di	5.119	tonne.m
27	Precision	Medium	50 station

Density:  Recalculate

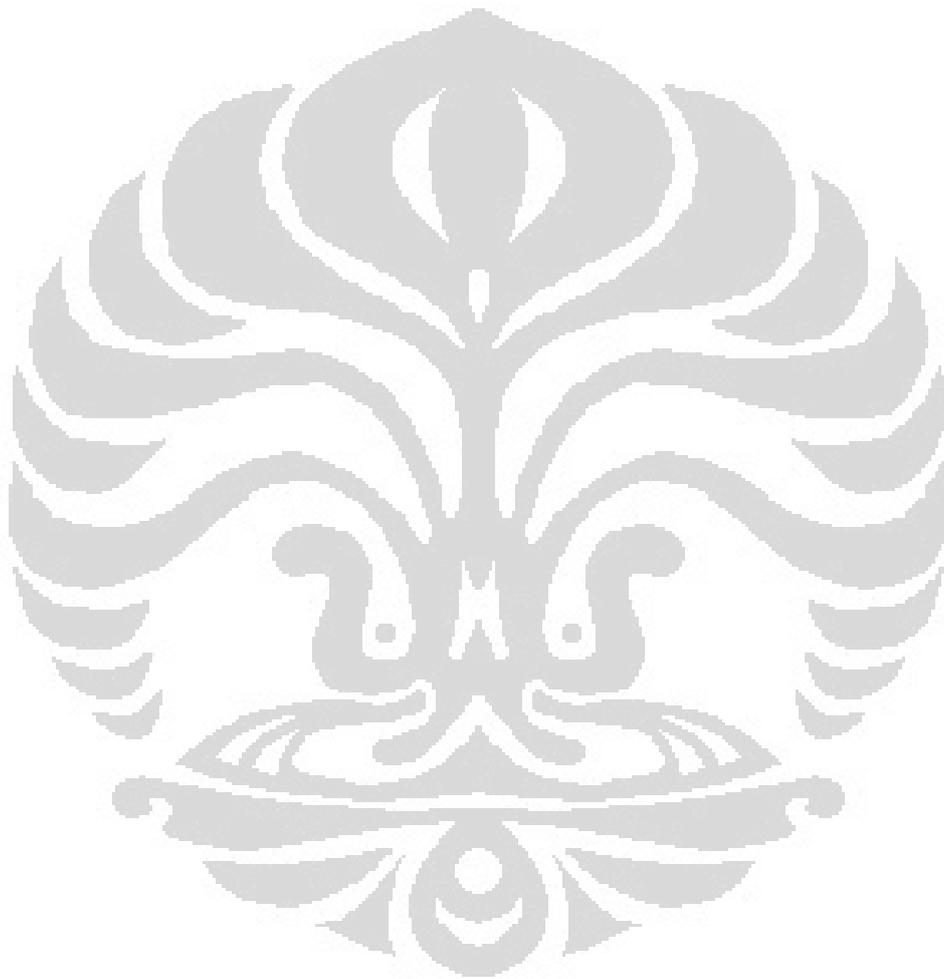
VCG:  Close

Gambar 3.6 Data Hidrostatik Kapal pada Program Maxsurf

	Speed (kts)	Holtrop Resist. (kN)	Holtrop Power (kW)	Series60 Resist. (kN)	Series60 Power (kW)	Compton Resist. (kN)	Compton Power (kW)	Fung Resist. (kN)	Fung Power (kW)
1	0	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0.2	0.02	0	-	-	-	-	-	-
3	0.4	0.07	0.01	-	-	-	-	-	-
4	0.6	0.15	0.04	-	-	-	-	-	-
5	0.8	0.25	0.09	-	-	-	-	-	-
6	1	0.39	0.17	-	-	-	-	-	-
7	1.2	0.54	0.29	-	-	-	-	-	-
8	1.4	0.72	0.45	-	-	-	-	-	-
9	1.6	0.93	0.67	-	-	-	-	-	-
10	1.8	1.16	0.93	-	-	-	-	-	-
11	2	1.41	1.26	-	-	-	-	-	-
12	2.2	1.69	1.66	-	-	-	-	-	-
13	2.4	1.99	2.13	-	-	-	-	-	-
14	2.6	2.31	2.69	-	-	-	-	-	-
15	2.8	2.65	3.32	-	-	-	-	-	-
16	3	3.02	4.05	-	-	1.5	2.01	-	-
17	3.2	3.4	4.87	-	-	1.69	2.42	-	-
18	3.4	3.81	5.8	-	-	1.9	2.89	-	-
19	3.6	4.24	6.83	0.74	1.2	2.12	3.42	-	-
20	3.8	4.69	7.97	0.83	1.41	2.35	4	-	-
21	4	5.16	9.23	0.96	1.71	2.6	4.65	1.65	2.95
22	4.2	5.65	10.62	1.12	2.11	2.85	5.36	1.88	3.53
23	4.4	6.16	12.13	1.24	2.45	3.12	6.14	2.16	4.24
24	4.6	6.69	13.77	1.35	2.78	3.43	7.05	2.49	5.13
25	4.8	7.24	15.55	1.48	3.17	3.75	8.06	2.91	6.25
26	5	7.82	17.48	1.6	3.59	4.09	9.15	3.43	7.67
27	5.2	8.41	19.56	1.74	4.06	4.45	10.35	4.05	9.43
28	5.4	9.02	21.79	1.89	4.57	4.82	11.66	4.83	11.66
29	5.6	9.65	24.18	2.06	5.16	5.22	13.07	5.8	14.53
30	5.8	10.3	26.73	2.25	5.84	5.63	14.6	6.96	18.05
31	6	10.98	29.46	2.46	6.6	6.1	16.38	8.25	22.13

Gambar 1.7 Hasil Perhitungan Hambatan Memakai Program Hullspeed

Kemudian kapal model dibuka memakai program Hullspeed. Perhitungan hambatan memakai sistim perhitungan hambatan Holtrop, Series 60, Compton dan Fung. Hambatan kapal dihitung pada kecepatan kapal 0 knot hingga 6 knot. Dalam perhitungan dipakai hambatan kapal yang terbesar yaitu hambatan pada metode Holtrop



## BAB IV ANALISIS SISTIM

### 4.1 Head Pompa pada Sistim Pipa

Untuk mengetahui letak keseimbangan sistim pipa dengan pompa (titik operasi pompa), maka harus dihitung head pompa pada tiap debit dengan sistim pipa yang dipakai.

Head statis ( $\Delta Z$ ) dihitung dengan menjumlahkan head suction dan head discharge. Head suction diukur dari permukaan air inlet ke poros pompa sedangkan head discharge diukur dari poros pompa ke permukaan air outlet. Apabila pompa berada dibawah permukaan air maka head suction bernilai positif. Sedangkan bila pompa berada diatas permukaan air, maka head suction bernilai negatif.

$$\text{Head statis } (\Delta Z) = \text{Head Discharge (Hd)} + \text{Head Suction (Hs)}$$

Sedangkan head sistim adalah:

$$H_{\text{sistim}} = \left( \Delta Z + \Delta \frac{P}{\rho g} + \Delta \frac{V^2}{2g} \right) + H_{\text{loss}}$$

- Besar head Statis  $\Delta Z = 0$  karena jarak vertikal poros dengan saluran input dan pipa output sama.
- Besar head tekanan  $\Delta \frac{P}{\rho g} = 0$  karena tekanan udara di permukaan air input pompa dan output pompa sama besar
- Kecepatan air ( $V$ ) pada saat  $Q$  dan diameter pipa

$$V = \frac{Q}{0.25 \pi D^2}$$

- Head kecepatan  $= \frac{V^2}{2g}$
- $H_{\text{loss}} = f \cdot \frac{L_e}{D} \frac{V^2}{2g}$
- $f$  untuk tiap kecepatan, diameter pipa, dan material pipa didapat dari diagram faktor friksi darcy atau diagram moody.
- $L_e$  dalam perhitungan  $H_{\text{loss}}$  didapat dari buku Teknologi dan Perencanaan Sistem Perpipaan 1986 halaman 426. Pada diameter pipa 0.25 m, siku  $90^\circ$  radius pendek  $L_e = 8.23$  m dan katup gate terbuka penuh  $L_e = 1.74$  m.

Pada diameter 0.3 m, siku 90<sup>0</sup> radius pendek  $L_e = 10.06$  m dan katup gate terbuka penuh  $L_e = 2.07$  m. Sedangkan untuk stone trap dipakai  $L_e = 25$  m. kemudian ditambahkan dengan panjang pipa lurus awal.

Perlengkapan pipa	Diameter = 0.3 m		
	panjang ekuivalen (m)	jumlah	total
siku 90 radius pendek	10.0584	3	30.1752
katup gate terbuka penuh	2.07264	2	4.14528
Stone trap	25	1	25
	jumlah (m)		59.32048
Perlengkapan pipa	Diameter = 0.25 m		
	panjang ekuivalen (m)	jumlah	total
siku 90 radius pendek	8.2296	3	24.6888
katup gate terbuka penuh	1.73738	1	1.73738
	jumlah (m)		26.42618

Tabel 4.1 Panjang Ekuivalen Perlengkapan Pipa

$H_{\text{losses}}$  merupakan kerugian head yang terjadi pada saluran aliran fluida. Head loss total didapat dari penjumlahan head loss yang terjadi pada saluran aliran fluida seperti karena panjang saluran, adanya belokan, pembesaran penampang dan lain sebagainya.

Secara umum Head Loss Total ( $H_{LT}$ ) merupakan penjumlahan dari mayor losses dan minor losses. Mayor losses ( $H_L$ ) merupakan dari efek gesekan pada aliran fully developed sepanjang saluran yang dilewati oleh aliran. Sedangkan minor losses ( $H_{LM}$ ) adalah kerugian yang disebabkan adanya kelengkapan sistem saluran pipa seperti kerugian pada saluran masuk, adanya belokan, perubahan besar penampang dan lain sebagainya.

#### 4.1.1 Metode Penghitungan Head Sistem

Perhitungan head sistem dilakukan dengan menghitung besar head pada tiap debit aliran air. Head sistem dihitung dari debit  $Q = 200$  m<sup>3</sup>/s hingga  $Q = 2600$  m<sup>3</sup>/jam. Perhitungan dimulai dengan menentukan jenis aliran yang terjadi di dalam pipa dengan cara menghitung besar  $N_R$ .

$$N_R = \frac{\rho V D}{\mu}$$

Menghitung  $N_R$  pada saat kecepatan aliran terendah yaitu pada debit  $200 \text{ m}^3/\text{jam}$  dengan  $v = 1.5726 \text{ m/s}$  pada pipa  $D = 0.3 \text{ m}$  dan viskositas dinamik air pada suhu  $20^\circ \text{C}$ ,  $\mu = 1.02 \times 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$  (*Fundamentals of Fluid Mechanics*. 1987 halaman 403)

$$N_R = \frac{1000 \cdot 0.7863 \cdot 0.3}{1.02 \times 10^{-3}}$$

$$N_R = 231264.706$$

Karena  $N_R > 4000$  maka aliran dalam pipa adalah turbulen, sehingga faktor friksi dapat diketahui dari diagram moody atau memakai diagram faktor friksi yang telah terintegrasi.

- Mencari Darcy's Friction Factor

Penentuan faktor friksi memakai diagram faktor friksi pipa dari handbook warman tahun 1999. Variabel yang dipakai yaitu debit pompa tiap kenaikan  $200 \text{ m}^3/\text{jam}$  dari  $200 \text{ m}^3/\text{jam}$  sampai  $2600 \text{ m}^3/\text{jam}$ , diameter pipa  $0.30 \text{ m}$  dan  $0.25 \text{ m}$ , dan material pipa besi dan karet. Bahan pipa karet merupakan bahan dari flexible joint pada pipa inlet diameter  $0.3 \text{ m}$ .

	D = 0.3	D = 0.25	D = 0.3	D = 0.25	D = 0.3
debit	v1	v2	f1 besi	f2 besi	f karet
200	0.78634898	1.13234253	0.016	0.0147	0.018
400	1.57269796	2.26468507	0.015	0.0142	0.0175
600	2.35904695	3.3970276	0.014	0.0137	0.0171
800	3.14539593	4.52937013	0.0139	0.0136	0.017
1000	3.93174491	5.66171267	0.0137	0.0132	0.0168
1200	4.71809389	6.7940552	0.0134	0.0131	0.0167
1400	5.50444287	7.92639774	0.0132	0.013	0.0166

	D = 0.3	D = 0.25	D = 0.3	D = 0.25	D = 0.3
debit	v1	v2	f besi	f2 (besi)	f karet
1600	6.29079185	9.05874	0.0131	0.013	0.0165
1800	7.07714084	10.19108	0.013	0.0129	0.0165
2000	7.86348982	11.32343	0.0129	0.0129	0.0165
2200	8.6498388	12.45577	0.0128	0.0128	0.0165
2400	9.43618778	13.58811	0.0127	0.0128	0.0165
2600	10.2225368	14.72045	0.0126	0.0127	0.0165

Tabel 4.2 Faktor Friksi tiap Debit dan Diameter

Kemudian dihitung Hloss yang terjadi pada tiap debitnya dengan persamaan:

$$H_{\text{loss}} = f \cdot \frac{L_e}{D} \frac{V^2}{2g}$$

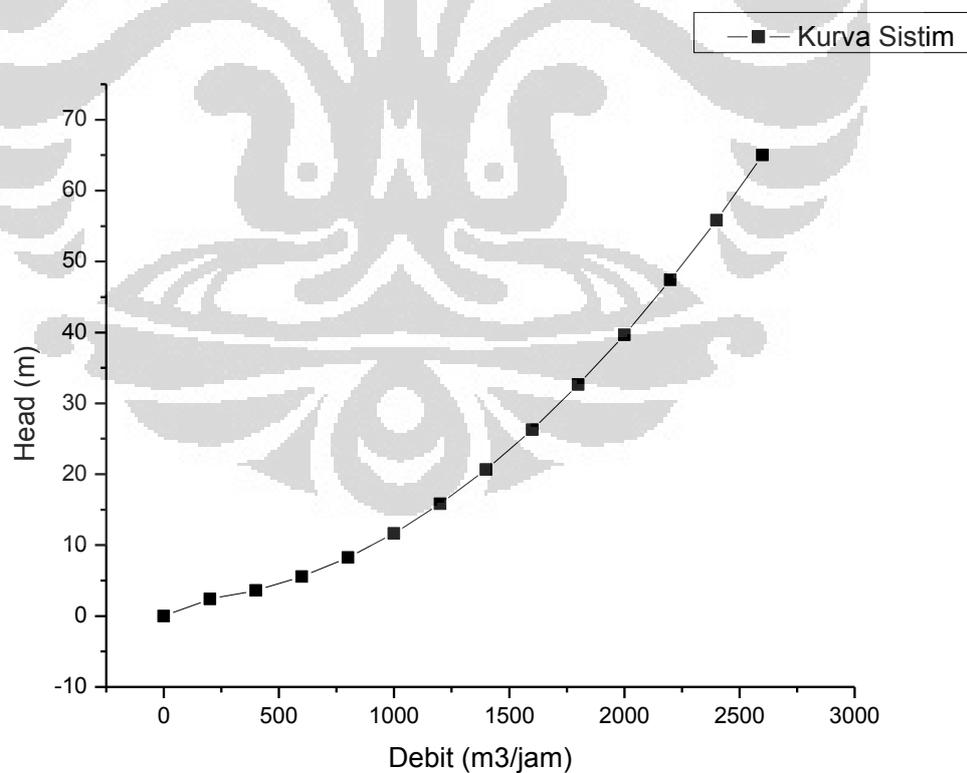
Kemudian ditambahkan dengan head tambahan akibat faktor tertentu, antara lain:

- Head pada pipa inlet  
 Pada buku fundamental of fluid mechanics oleh Jack B. Evett dan Cheng Liu hal 153. Pipa input bentuk Reentrant  $K = 0.78$   
 Head loss input =  $K \frac{V^2}{2g}$
- Head akibat perbesaran outlet pompa  
 Pada Warman Slurry Pumping Handbook halaman 34.  $K_e = 0.55$   
 Head perbesaran outlet discharge =  $K_e \frac{(V_2 - V_1)^2}{2g}$
- Head akibat pengecilan pipa tiba tiba  
 Pada buku fundamental of fluid mechanics oleh Jack B. Evett dan Cheng Liu hal 154. Dari grafik didapat  $K = 0.1$   
 Head pengecilan pipa tiba tiba =  $K \frac{V_2^2}{2g}$
- Head pada pengecilan pipa perlahan (Nosel)  
 Pada buku fundamental of fluid mechanics oleh Jack B. Evett dan Cheng Liu hal 155. Sudut nosel =  $27^\circ$  maka  $K = 0.04$   
 Head nosel =  $K \frac{V_2^2}{2g}$
- Head pada keluaran pipa  
 Pada buku fundamental of fluid mechanics oleh Jack B. Evett dan Cheng Liu hal 153.  $K = 1$   
 Head exit =  $K \frac{V^2}{2g}$
- Head lainnya  
 Untuk faktor keamanan ditambahkan head.  
 Head = 2 m

Head – head tersebut dijumlahkan, Sehingga didapat total head sistim:

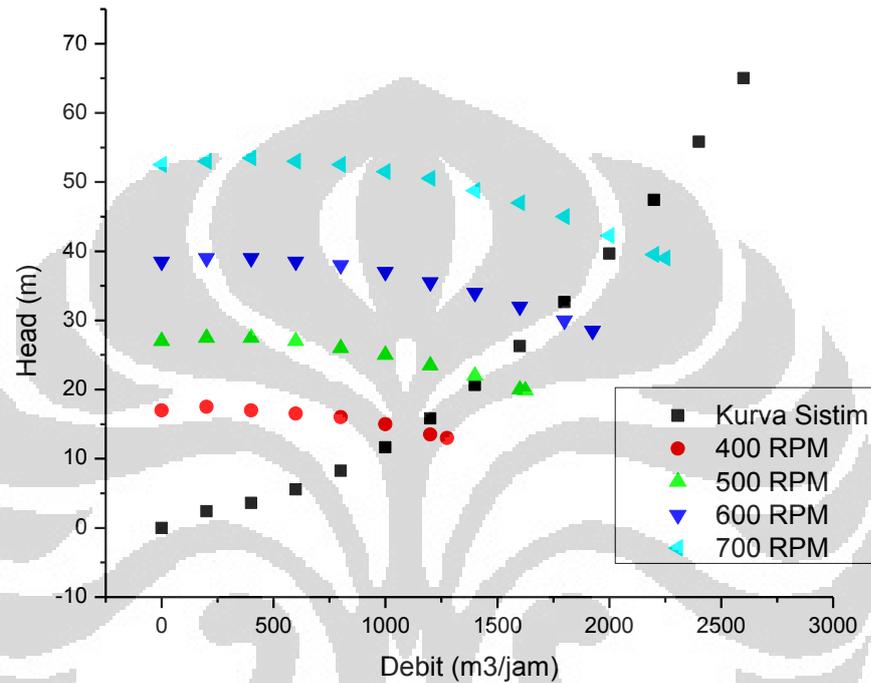
Debit (m <sup>3</sup> /jam)	Head (m)
200	2.420005
400	3.62655439
600	5.53911381
800	8.2633511
1000	11.65484
1200	15.8045898
1400	20.6581211
1600	26.2561637
1800	32.625706
2000	39.6330216
2200	47.4261581
2400	55.806734
2600	64.9948265

Tabel 4.3 Head-debit sistim pipa



Grafik 4.1 Head-Debit Sistim Pipa

Telah diketahui berapa besar head yang ditimbulkan sistem pipa pada tiap debitnya. Head tersebut merupakan head yang harus diatasi oleh pompa pada tiap debitnya. Kemudian diagram head-debit pompa digabungkan dengan diagram head-debit sistem untuk mengetahui titik operasi pompa.



Grafik 4.2 Head-Debit-RPM Pompa dan Sistem Pipa (Titik Operasi Pompa)

Pada grafik head-debit-RPM, titik pertemuan antara grafik head-debit sistem pipa dengan grafik RPM pompa adalah titik operasi pompa pada tiap putaran pompa.

RPM	Debit (m <sup>3</sup> /jam)	Head (m)
400	1100	13.73
500	1450	21.8
600	1750	30.5
700	2050	41

Tabel 4.4 Titik Operasi Pompa

Pada saat debit 1100 m<sup>3</sup>/jam maka head pompa 13.73 m. Maka untuk mencapai debit dan head tersebut maka impeller pompa harus berputar 400 RPM dan seterusnya.

#### 4.2 Thrust yang Dibutuhkan

Besar thrust yang dibutuhkan dipengaruhi besar hambatan dan fraksi deduksi gaya dorong.

$$T = \frac{Rt}{1-t}$$

Dimana :

T : gaya dorong (N)

Rt : hambatan total (N)

t : fraksi deduksi gaya dorong

Nilai fraksi deduksi gaya dorong (t) menurut Blount yaitu t = 0.05, maka:

Vs (knot)	Rt (kN)	t	T
1	0.39	0.05	0.41052632
2	1.41	0.05	1.48421053
3	3.02	0.05	3.17894737
4	5.16	0.05	5.43157895
4.5	6.42	0.05	6.75789474
5	7.82	0.05	8.23157895
5.5	9.33	0.05	9.82105263
6	10.98	0.05	11.5578947

Tabel 4.5 Thrust yang Dibutuhkan

#### 4.3 Debit yang Dibutuhkan

Gaya dorong dihasilkan dari aliran air yang disemburkan oleh nosel ke permukaan air.

Persamaan gaya dorong adalah :

$$F = \rho \cdot A_n \cdot V_1 \cdot (V_1 - V_0)$$

Dimana :

F = Gaya dorong (N atau kgm/s<sup>2</sup>)

$\rho$  = Masa jenis fluida kerja (kg/m<sup>3</sup>)

A<sub>n</sub> = Luas penampang outlet nosel (m<sup>2</sup>)

$V_1$  = Kecepatan aliran jet (m/s)

$V_0$  = kecepatan efektif yang diperkirakan pada saluran inlet (m/s)

Besar thrust yang dibutuhkan tiap kecepatan sudah diketahui, maka besar debit yang harus dikeluarkan pompa untuk menghasilkan thrust tersebut dapat diketahui dengan menghitung besar  $V_1$ .

$$F = \rho \cdot A_n \cdot V_1 \cdot (V_1 - V_0)$$

$$V_1^2 - V_1 V_0 = F / \rho \cdot A_n$$

Disusun menjadi persamaan kuadrat sederhana berbentuk  $ax^2+bx+c=0$  dimana besar x dapat diketahui dengan persamaan  $x = [-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}]/2a$

Persamaan kuadrat  $V_1$  :

$$V_1^2 + (-V_0)V_1 + (-F / \rho \cdot A_n) = 0$$

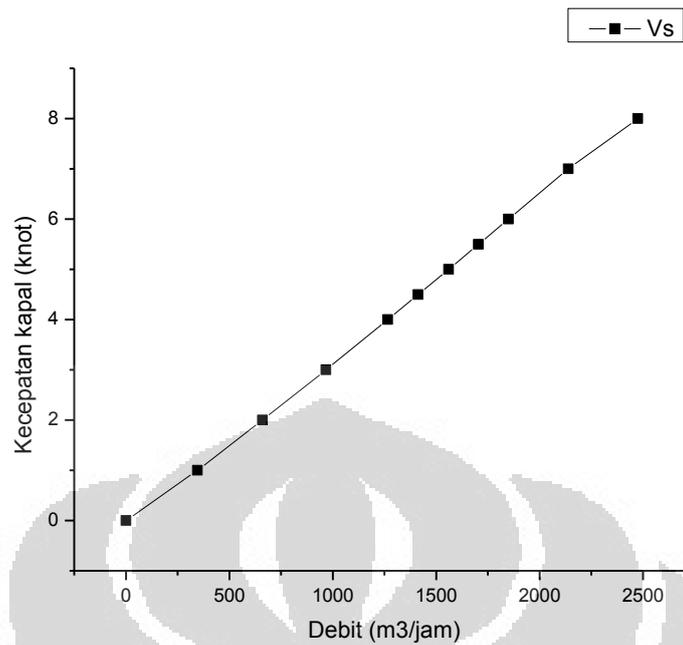
- Konstanta a adalah 1
- Variabel x adalah  $V_1$
- Konstanta b adalah  $-V_0$
- Konstanta c adalah  $-F / \rho \cdot A_n$

Sehingga besar  $V_j$  dapat diketahui

$$V_1 = \frac{-V_0 \pm \sqrt{V_0^2 - 4\left(-\frac{F}{\rho A_n}\right)}}{2}$$

$V_s$ (knot)	$V_0$ (m/s)	$F/(\rho A)$ (Nm/kg)	$V_1$ (m/s)	$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q$ (m <sup>3</sup> /h)
1	0.5144	20.4282601	4.78427543	0.0961448	346.121277
2	1.0288	73.8560174	9.12373359	0.18335055	660.061981
3	1.5432	158.188066	13.3725298	0.26873436	967.443694
4	2.0576	270.281596	17.5012019	0.35170415	1266.13495
4.5	2.3148	336.28059	19.5318433	0.39251192	1413.04292
5	2.572	409.612806	21.5657092	0.43338449	1560.18417
5.5	2.8292	488.706839	23.5665284	0.47359296	1704.93464
6	3.0864	575.134093	25.5747533	0.51395024	1850.22088

Tabel 4.6 Debit tiap Kecepatan Kapal



Grafik 4.3 Kecepatan Kapal Vs Debit Pompa

Akan tetapi, pompa hanya bekerja pada titik operasinya. Dengan interpolasi, dapat diketahui perkiraan kecepatan yang dihasilkan tiap RPM nya.

RPM	Debit (m3/jam)	Head (m)	prakiraan kecepatan (knot)
400	1100	13.73	3.443849
500	1450	21.8	4.625679
600	1750	31	5.65584
700	2050	41	6.693654

Tabel 4.7 Interpolasi Kecepatan yang Dihasilkan

#### 4.4 Efisiensi pada Sistem Pipa-Pompa

- Efisiensi pada nosel

Efisiensi dihitung dengan membandingkan daya yang dihasilkan pada nosel dengan daya yang dikeluarkan oleh pompa

$$\eta_j = \frac{F V_s}{\rho g Q H_{pompa}}$$

- Efisiensi pompa

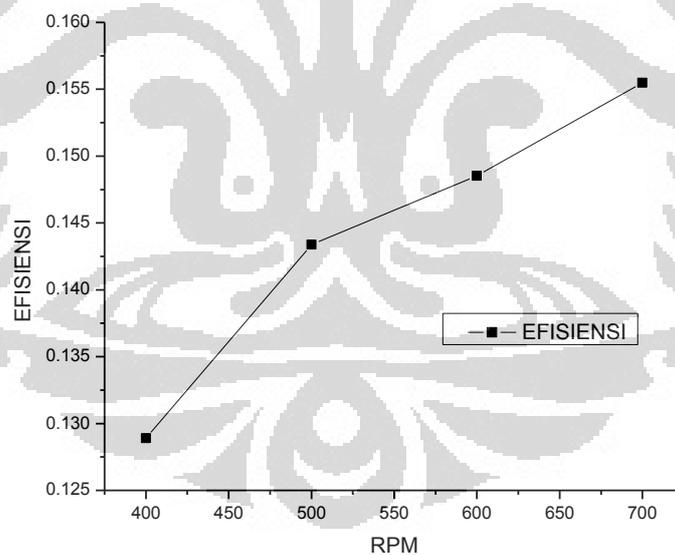
Merupakan besar efisiensi pompa pada saat kerja tertentu. Pada diagram sistem pipa diketahui efisiensi pompa sekitar 76 %

- Efisiensi transmisi  
Merupakan efisiensi karena transmisi pada shaft dari mesin penggerak utama hingga ke pompa, efisiensi antara 0.96 -0.99. diambil efisiensi 0.96
- Efisiensi keseluruhan  
Total seluruh efisiensi sistim pipa-pompa.

$$\eta_{\text{all}} = \eta_j \times \eta_p \times \eta_t$$

Efisiensi	RPM 400	RPM 500	RPM 600	RPM 700
Nosel	0.17668	0.19652654	0.203583	0.213102
Pompa	0.76	0.76	0.76	0.76
Transmisi	0.96	0.96	0.96	0.96
Keseluruhan	0.12891	0.14338	0.14853	0.15548

Tabel 4.8 Efisiensi Sistim Pipa-Pompa



Grafik 4.4 Efisiensi Sistim Pipa-Pompa

#### 4.5 Manuver

Gaya untuk manuver kapal diberikan oleh gaya dorong aliran air dari nosel. Dengan asumsi kapal diam dan arus tenang. Manuver dilakukan dengan cara mengubah arah semburan nosel.

Items	Units	Light Weight	10% consumabl	Full Consumab	10% consumabl and Crane	Full Consumab and Crane
Compartment Categories	tonnes					
Other Compartments	tonnes		3.7	16.3	3.7	16.3
Fixed Weights	tonnes	0.9	1.5	1.5	3.5	3.5
Deadweight	tonnes	0.9	5.2	19.3	7.2	19.8
Lightship	tonnes	91.1	91.1	91.1	91.1	91.1
Displacement	tonnes	92.0	96.3	110.4	98.3	110.9
LCG	metres	10.650	10.875	10.789	10.924	10.695
TCG	metres	0.015	-0.000	0.000	0.136	0.121
VCG	metres	1.564	1.520	1.427	1.604	1.515

Tabel 14.9 Titik Berat Kapal

Jarak antara titik berat longitudinal kapal dengan nosel pada kondisi full consumable and crane adalah 10.695 m. Sehingga dapat dihitung moment yang diberikan oleh nosel terhadap kapal.

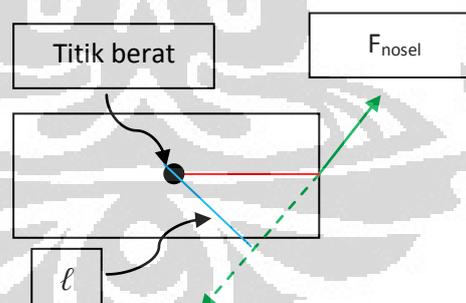
$$M = F \times \ell$$

Dimana :

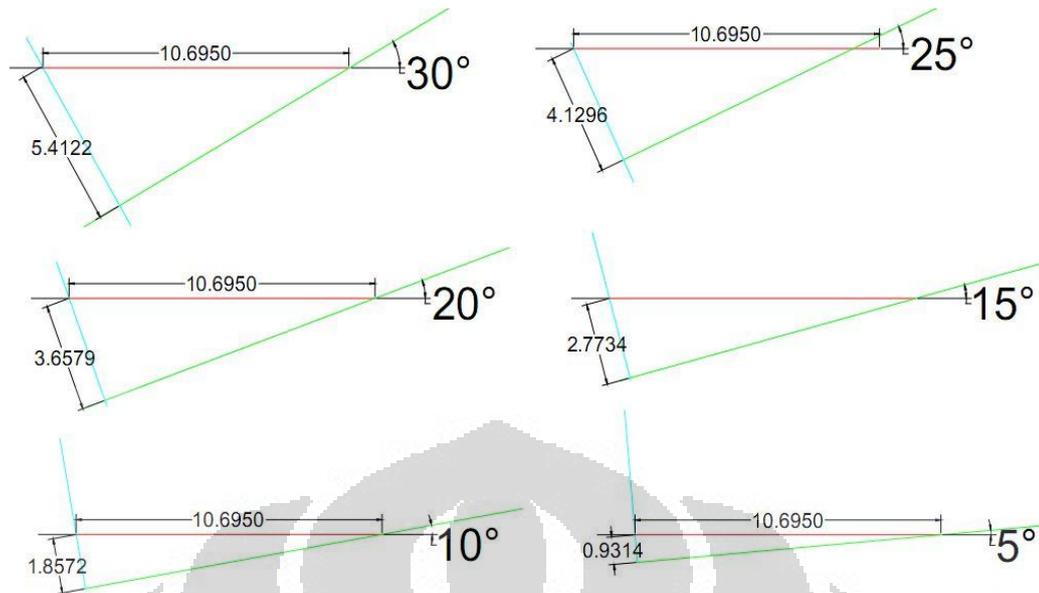
M = Momen

F = Gaya dari nosel

$\ell$  = Panjang lengan beban tegak lurus gaya



Gambar 4.1 Ilustrasi Sudut Nosel dan Lengan Kerja terhadap Titik Berat Kapal

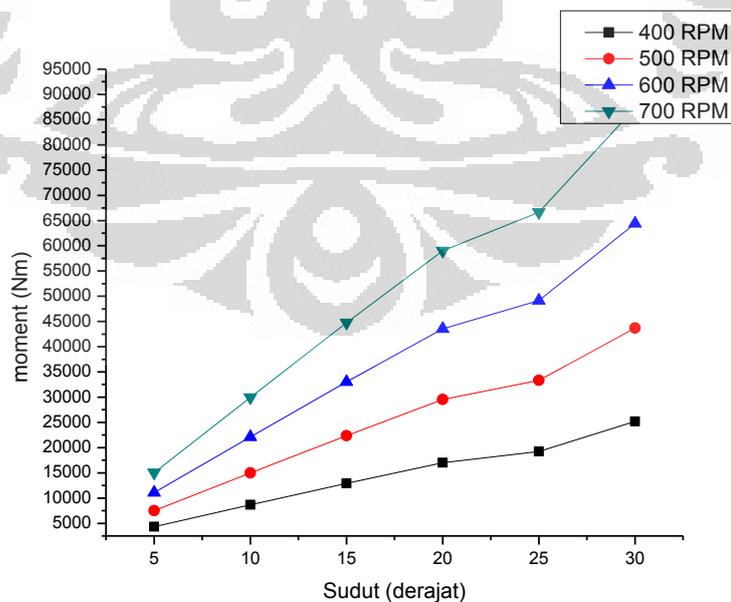


Gambar 4.2 Sudut Nosel dan Lengan Kerja

5 derajat				
RPM	Debit (m <sup>3</sup> /s)	T (N)	L (m)	Momen (Nm)
400	1100	4654.9095	0.9314	4335.582708
500	1450	8072.7477	0.9314	7518.957208
600	1700	11906.4285	0.9314	11089.6475
700	2050	16135.8965	0.9314	15028.974
10 derajat				
RPM	Debit (m <sup>3</sup> /s)	T (N)	L (m)	Momen (Nm)
400	1100	4654.9095	1.8572	8645.097923
500	1450	8072.7477	1.8572	14992.70703
600	1700	11906.4285	1.8572	22112.61901
700	2050	16135.8965	1.8572	29967.58698
15 derajat				
RPM	Debit (m <sup>3</sup> /s)	T (N)	L (m)	Momen (Nm)
400	1100	4654.9095	2.7734	12909.92601
500	1450	8072.7477	2.7734	22388.95847
600	1700	11906.4285	2.7734	33021.2888
700	2050	16135.8965	2.7734	44751.29535

20 derajat				
RPM	Debit (m <sup>3</sup> /s)	T (N)	L (m)	Momen (Nm)
400	1100	4654.9095	3.6579	17027.1935
500	1450	8072.7477	3.6579	29529.3038
600	1700	11906.4285	3.6579	43552.5248
700	2050	16135.8965	3.6579	59023.4958
25 derajat				
RPM	Debit (m <sup>3</sup> /s)	T (N)	L (m)	Momen (Nm)
400	1100	4654.9095	4.1296	19222.9143
500	1450	8072.7477	4.1296	33337.2189
600	1700	11906.4285	4.1296	49168.7871
700	2050	16135.8965	4.1296	66634.7982
30 derajat				
RPM	Debit (m <sup>3</sup> /s)	T (N)	L (m)	Momen (Nm)
400	1100	4654.9095	5.4122	25193.3012
500	1450	8072.7477	5.4122	43691.3251
600	1700	11906.4285	5.4122	64439.9723
700	2050	16135.8965	5.4122	87330.699

Tabel 4.10 Momen Tiap RPM dan Sudut Nosel



Grafik 4.5 Momen Terhadap Titik Berat Kapal Tiap Derajat kemiringan nosel

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari pembahasan ini dapat disimpulkan beberapa hal:

- Pompa dapat dipakai karena kurva sistim pipa berada didalam diagram head-debit pompa.
- Semakin besar debit pompa maka gaya dorong yang dihasilkan akan semakin besar.
- Ketika nosel lurus ke belakang, aliran air dari nosel pada saat pompa bekerja pada 600 RPM, dapat mendorong kapal hingga kecepatan 5.65 knot.
- Efisiensi sistim pipa-pompa keseluruhan pada RPM 600 adalah 0.148
- Momen manuver bertambah dengan semakin besarnya sudut arah nosel.

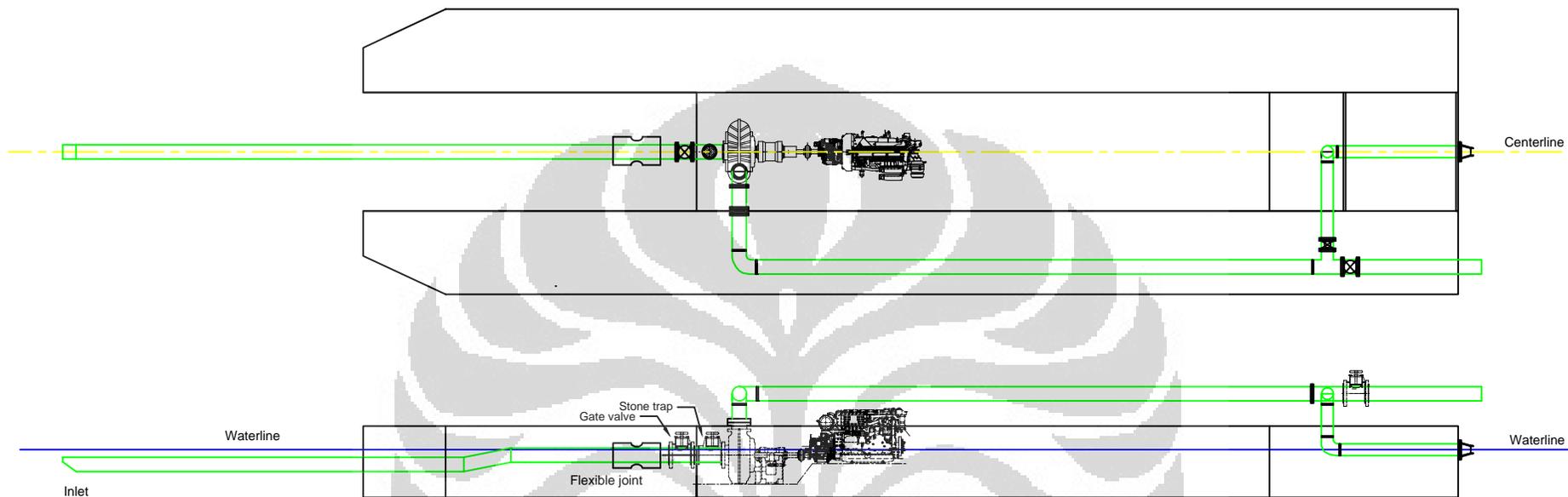
#### **5.2 Saran**

Dari pembahasan ini ada beberapa saran mengenai pengaplikasiannya:

- Perhitungan gaya dorong yang dihasilkan hanya menggunakan teori momentum dasar, sehingga harus dikoreksi dengan pengaruh praktis di lapangan.
- Pemakaian pompa tidak cocok untuk propulsi kapal karena memiliki efisiensi rendah.
- Mengingat fungsi utama pompa pada kapal adalah untuk mengeruk sedimen, maka sebelum pemakaian nosel untuk manuver perlu diperhatikan agar sistim pembersihan pipa dilakukan agar tidak terdapat sisa sedimen yang dapat merusak nosel.
- Perlu diperhatikan mengenai bentuk nosel dan sistem kemudi arah nosel yang sesuai.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adji, Suryo W. Waterjet Propulsion System
- Evet, B Jack dan Cheng Liu. *Fundamentals of Fluid Mechanics*. Mc Graw Hill. 1987
- Manohar, M dan P Krishnamunchar. *Fluids Mechanics – Hydraulic Machinery & Advance Hydraulic*. Vikas. 1983
- Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri. [www.energyefficiencyasia.org](http://www.energyefficiencyasia.org)  
© UNEP 2006
- Raswari. *Teknologi dan Perencanaan Sistem Perpipaan*. UI Press. 1986
- Sularso dan Haruo Tahara. *Pompa dan Kompresor*. Pradnya Paramita, 1996
- Warman International LTD. *Warman Slurry Pumping Hanbook*. 2000  
[www.sandaipump.com/INFORMATION/info%20pompa%20sentrifugal%202.html](http://www.sandaipump.com/INFORMATION/info%20pompa%20sentrifugal%202.html)



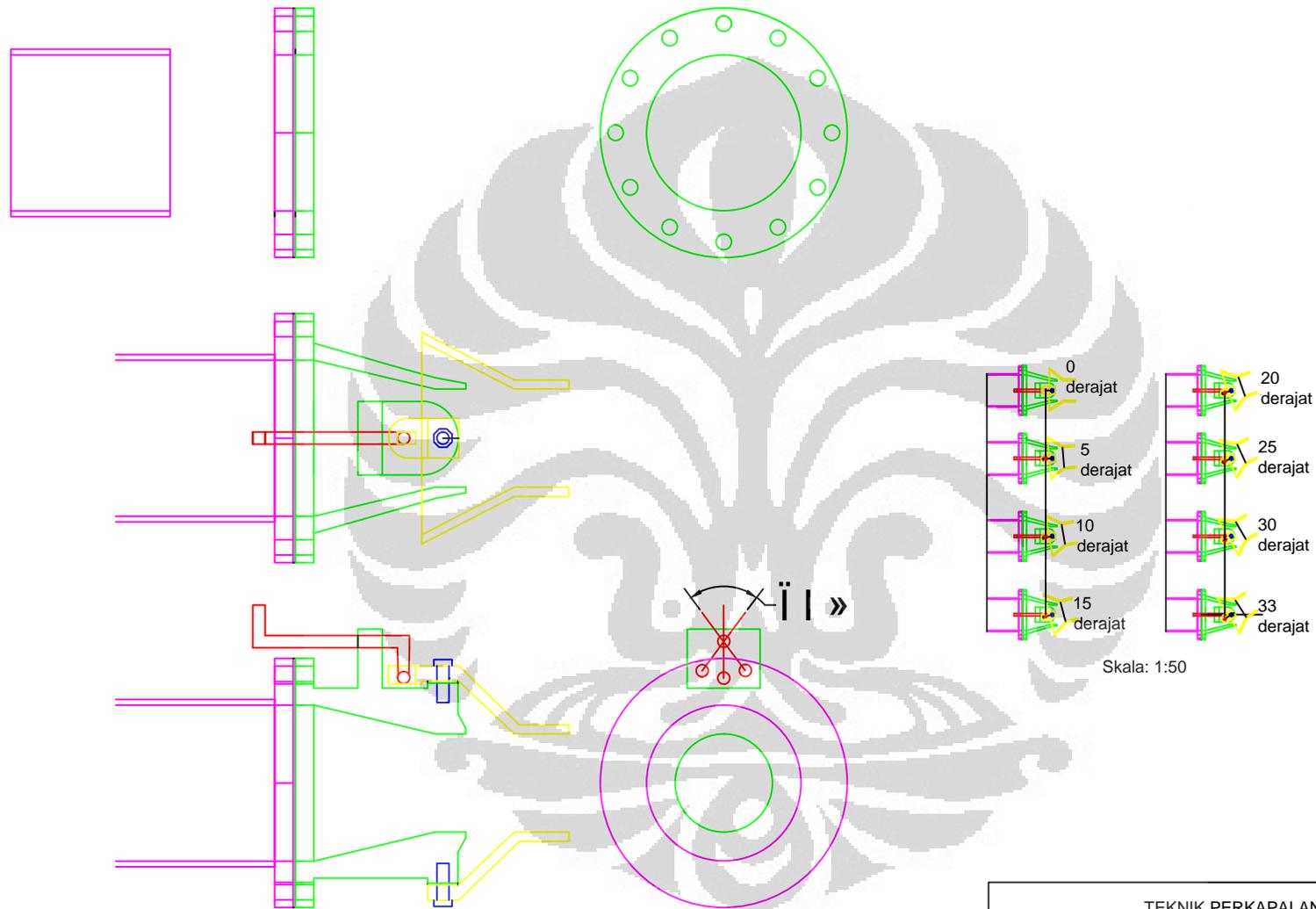
**UKURAN UTAMA KAPAL**

LPP = 23.22 m  
 LWL = 23.22 m  
 B = 6 m  
 H = 1.5 m  
 T = 1 m  
 Displacement = 109 ton

**PERLENGKAPAN POMPA**

Pompa: Warman 12/10 FAH  
 Mesin Pompa: Caterpillar C18 Acert 1800 RPM

TEKNIK PERKAPALAN UNIVERSITAS INDONESIA		
SISTIM PIPA DAN POMPA PADA KAPAL		
Digambar oleh: Ismail Saleh		Disetujui oleh:
Dicek oleh: Ir. Hadi Tresno Wibowo		
Skala: 1:800	Tanggal: 10 Juli 2012	Sheet:



TEKNIK PERKAPALAN UNIVERSITAS INDONESIA		
NOSEL DAN ALAT PENGUBAH ARAH NOSEL		
Digambar oleh: Ismail Saleh	Disetujui oleh:	
Dicek oleh: Ir. Hadi Tresno Wibowo		
Skala: 1:10	Tanggal: 10 Juli 2012	Sheet: