

**TUGAS AKHIR - MN091482**

**DESAIN BENTUK LAMBUNG ROV SEBAGAI ALAT  
INSPEKSI VISUAL BAWAH LAUT DI DAERAH  
KOLAM PELABUHAN**

**Andi Hakim  
NRP. 4105 100 068**

**Pembimbing:  
Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.**

**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2014**



**FINAL PROJECT – MN091482**

# **DESIGN ROV HULL AS UNDERWATER INSPECTION TOOL AT WATERPORT**

**ANDI HAKIM  
NRP. 4105 100 068**

**Supervisor:  
Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.**

**Department of Naval Architecture and Shipbuilding Engineering  
Faculty of Marine Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2014**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**DESAIN BENTUK LAMBUNG ROV SEBAGAI ALAT  
INSPEKSI VISUAL BAWAH LAUT DI DAERAH KOLAM  
PELABUHAN**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Rekayasa Perkapalan  
Jurusan Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :  
**ANDI HAKIM**  
**N.R.P. 4105 100 068**

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

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



**SURABAYA, JULI 2014**

# DESAIN BENTUK LAMBUNG ROV SEBAGAI ALAT INSPEKSI VISUAL BAWAH LAUT DI DAERAH KOLAM PELABUHAN

**Nama Mahasiswa** : ANDI HAKIM  
**NRP** : 4105.100.068  
**Jurusan** : Teknik Perkapalan, FTK – ITS  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.

## Abstrak

Pengembangan sejumlah ROV dalam tahap desain atau pengujian, memiliki tujuan akhir untuk digunakan di penelitian *oceanographic*. Beberapa didesain untuk penggunaan di pesisir laut, dan yang lainnya didesain pada tengah-tengah kedalaman laut serta mendekati dasar laut. *Remotely Operated underwater Vehicles* atau ROV yang didesain memiliki bentuk yang kecil dengan material yang mudah didapat dan tidak banyak menghabiskan dana yang besar. Untuk desain *frame* yang direncanakan menggunakan pipa PVC dengan diameter 2.54 cm. Pipa PVC dipilih karena memiliki kelebihan yakni sulit rusak, tahan lama, tidak berkarat, tidak membusuk, mudah merubah bentuk dan ukuran serta memiliki daya apung sendiri.

Desain awal ROV dibuat dengan memperhatikan fungsi utama yaitu inspeksi *visual*, dengan kata lain memiliki kamera dan mampu bergerak maju, menyelam, dan menyamping. Desain ini memiliki panjang total 28 cm dan lebar total 16.48 cm. Setelah melakukan perhitungan titik berat dan titik buoyancy ternyata desain awal ini tidak memiliki stabilitas yang baik karena titik-titik tersebut saling berdekatan sehingga diperlukan desain ulang. Untuk desain ROV yang baru memiliki panjang 34.4 cm tinggi 17.78 cm dan lebar 16.48 cm serta berat total 1173 grams. Desain ini sudah memiliki stabilitas yang cukup karena LCG dengan LCB berdekatan, VCG dengan VCB memiliki jarak, dan letak VCB diatas VCG. Desain ROV ini selanjutnya dilakukan estimasi besar hambatan serta kekuatan propulsi yang diperlukan untuk memiliki kecepatan. Dari perhitungan dapat disimpulkan bahwa ROV mampu melaju dengan kecepatan 2 knots atau 1.028 m/s, kecepatan menyelam 0.3 m/s.

**Kata Kunci** : desain, kamera, ROV, *visual*

# DESIGN ROV HULL AS UNDERWATER INSPECTION TOOL AT WATERPORT

**Author** : ANDI HAKIM  
**ID No.** : 4105.100.068  
**Dept. / Faculty** : Naval Architecture & Shipbuilding  
Engineering / Marine Technology  
**Supervisors** : Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.

## Abstract

Development of a number of ROV in the design phase or testing, has the ultimate goal to be used in oceanographic research. Some are designed for use on the sea coast, and the other was designed in the middle of the ocean depths and closer to the sea floor. Remotely Underwater Operated Vehicles or ROV is designed to have a small form with a material that is easy to come by and not spend a lot of money. Planned design for the frame using PVC pipe with a diameter 2.54 cm. PVC pipe chosen because it has the advantage that hard to be damaged, durable, no rust, no rot, easy to change shape and size as well as having its own buoyancy.

The initial design of ROV made with regard to the primary function of the visual inspection, in other words, has a camera and is able to move forward, diving, and sideways. This design has a total length of 28 cm and a total of 16.48 cm wide. After calculating the center of gravity and buoyancy point turns this initial design does not have good stability because the points are close to each other so that re-design is necessary. The new design ROV has a 34.4 cm long, 17.78 cm height and 16.48 cm wide and a total weight of 1173 grams. This design already has sufficient stability cause LCB adjacent LCG, VCG with VCB has distance, and location of VCB over VCG. The design is then carried estimation ROV drag as well as the propulsion force is required to have speed. From the calculations it can be concluded that the ROV capable of traveling at a speed of 2 knots or 1,028 m / s, and the speed of the dive 0.3 m / s.

Keywords: camera, design, ROV, visual

## KATA PENGANTAR

*Assalamualaikum Wr, Wb.*

Alhamdulillah, puji syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Dan tak lupa shalawat serta salam tetap tercurahkan untuk nabi Muhammad SAW yang senantiasa memberi petunjuk arah jalan kebenaran dan kebaikan.

Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik oleh penulis tentunya tidak lepas dari dukungan banyak pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada :

1. Ayah dan Ibu tercinta yang telah membesarkan penulis atas do'a, kasih sayang, dukungan dan bimbingannya yang tidak pernah berhenti.
2. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D. Selaku dosen pembimbing atas segala bimbingan, ilmu, waktu, dan kesabaran dalam mengarahkan dan memberi nasehat kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
3. Bapak Prof.Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D., CEng, FRINA, Selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan – FTK ITS
4. Bapak Totok Yulianto, S.T, M.T. Selaku dosen wali penulis, atas bimbingannya selama penulis menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Perkapalan – FTK ITS.
5. Karyawan Tata Usaha Jurusan Teknik Perkapalan – FTK – ITS.
6. Keluarga tercinta yang selalu menjadi penyemangat dalam menyelesaikan studiku.
7. Tema-teman di kontrakan yang telah bersedia membimbing, memberikan arahan kepada penulis, sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
8. Teman-teman di Teknik Perkapalan angkatan 2005 ( P-45 Panglima).
9. Para senior Perkapalan yang membantu memberikan arahan Tugas Akhir.
10. Adik – adik Perkapalan yang telah menjadi inspirasi penulis.

11. Teman-teman dari TK, SD, SMP, SMA yang telah memberikan *support* serta menjadi motivasi bagi penulis untuk segera menyelesaikan tugas akhir ini.

12. Semua pihak yang telah membantu penulis, yang tidak mungkin disebutkan satu persatu.

Penulis sadar bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, karena kesempurnaan hanyalah milik Allah. Maka saran dan kritik yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

*Wassalamualaikum, Wr, Wb.*

Surabaya, Juli 2014

Andi Hakim / 4105 100 068

# DAFTAR ISI

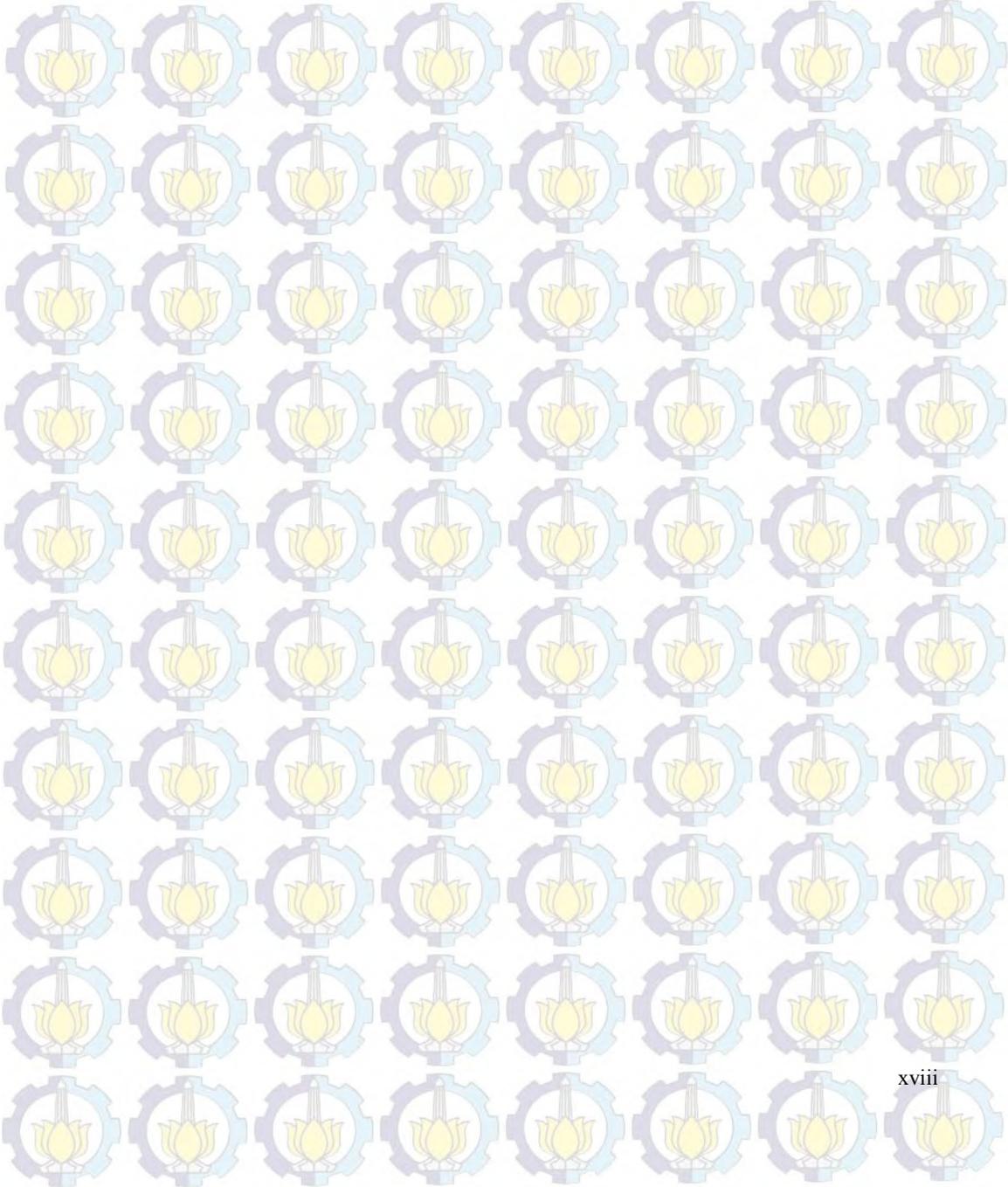
KATA PENGANTAR .....	ix
Abstrak .....	xi
Abstract .....	xiii
DAFTAR ISI .....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR TABEL .....	xix
BAB I .....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1 LATAR BELAKANG .....	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH .....	3
1.3 TUJUAN PENULISAN .....	3
1.4 BATASAN MASALAH .....	4
1.5 MANFAAT PENULISAN .....	4
1.6 HIPOTESIS .....	4
1.7 MODEL ANALISIS .....	5
1.8 SISTEMATIKA PENULISAN .....	6
BAB II .....	7
TINJAUAN PUSTAKA .....	7
11.1. Remotely Operated Vehicle (ROV) .....	7
II.1.1. Sejarah perkembangan ROV .....	7
II. 1.2. Klasifikasi ROV .....	8
II. 1.3. Fungsi ROV .....	9
11.1.5. Daya apung (buoyancy) .....	10
11.1.6. Titik Berat dan Titik Bouyancy .....	12
11.1.7. Keseimbangan hidrostatis .....	15
11.1.8. Desain Stability .....	16
11.1.9. Hambatan .....	17
11.1.10. Motor Penggerak ROV .....	18
11.2. Konstruksi ROV .....	21
11.2.1 Rangka .....	22
11.2.2 Motor pendorong/ <i>thruster</i> .....	22
II.2.4 Daya apung .....	23

11.2.5	Kamera .....	24
11.2.6	Baling-baling .....	25
11.2.7	Catu daya .....	26
11.2.8	<i>Tether</i> / kabel .....	26
11.2.9	Pencahayaan .....	27
BAB III .....		29
METODOLOGI .....		29
111.1	Desain ROV .....	29
111.2	Komponen ROV .....	31
3.2.1	<i>Frame</i> (bingkai) .....	31
3.2.2	Thruster .....	34
3.2.3	Kamera .....	35
3.2.4	Kontrol .....	37
3.2.5	Navigasi .....	38
111.3	Titik Berat dan Titik Bouyancy Desain Awal ROV .....	39
3.3.1.	Titik Berat ROV .....	39
3.3.2.	Titik Bouyancy ROV .....	41
BAB IV .....		45
ANALISA DAN PEMBAHASAN .....		45
IV.1.	Desain ROV .....	45
4.1.1.	Desain Baru ROV .....	45
4.1.2.	Titik Berat ROV .....	45
4.1.2.	Titik Bouyancy ROV .....	48
IV.2	Estimasi Hambatan Pada ROV .....	51
IV.3	Estimasi Power Propulsi ROV .....	53
BAB V .....		59
PENUTUP .....		59
V.1	Kesimpulan .....	59
V.2	Saran .....	59
DAFTAR PUSTAKA .....		61
LAMPIRAN .....		63

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Komponen dasar ROV [3] .....	7
Gambar 2 Gaya apung .....	11
Gambar 3 gaya momen yang terjadi pada ROV .....	15
Gambar 4 persamaan gaya momen ROV .....	16
Gambar 5 pengaruh aspek ratio terhadap stabilitas .....	16
Gambar 6 pengaruh penempatan thrusters terhadap stabilitas .....	17
Gambar 7 Konfigurasi motor DC (Sumber: Delta Electronic, 2007) .....	23
Gambar 8 <i>Bilge pump</i> .....	23
Gambar 10 Kamera CCD (Sumber: Toko Komputer, 2009) .....	24
Gambar 9 CG dan CB pada ROV (Sumber: Christ dan Wernli, 2007) .....	24
Gambar 11 Ilustrasi gaya dan .....	25
Gambar 12 Closed frame ROV .....	30
Gambar 13 Open frame ROV .....	31
Gambar 14 Frame ROV tampak samping .....	32
Gambar 15 frame ROV tampak atas .....	32
Gambar 16 Peletakan Thruster secara umum .....	34
Gambar 17 motor DC beserta ukuran dalam mm (servocity) .....	35
Gambar 18 propeller berdiameter 2.54 cm pitch ratio 1.58 (TOWER HOBBIES) .....	35
Gambar 19 Kamera CCD .....	36
Gambar 20 DPDT switch .....	37
Gambar 21 joystick .....	38
Gambar 22 electronic speed controller (ESC) .....	38
Gambar 23 Desain awal ROV .....	39
Gambar 24 Letak CG dan CB desain awal ROV .....	43
Gambar 25 Desain baru ROV dengan memperhatikan letak buoyancy .....	45
Gambar 26 Penomeran pipa dan alat pada ROV .....	46
Gambar 27 Estimasi Hambatan ROV saat bergerak maju .....	51
Gambar 28 Estimasi Hambatan ROV saat bergerak menyelam .....	52
Gambar 29 Estimasi Hambatan ROV saat bergerak menyamping .....	52

Gambar 30 Estimasi Daya Efektif ROV dengan kecepatan (m/s) .....	54
Gambar 31 Estimasi Daya Dorong ROV dengan kecepatan (m/s) .....	55
Gambar 32 Estimasi Daya Motor ROV dengan kecepatan (m/s) pada saat gerakan maju .....	56
Gambar 33 Estimasi Daya Motor ROV dengan kecepatan (m/s) pada saat gerakan menyelam .....	56
Gambar 34 Estimasi Daya Motor ROV dengan kecepatan (m/s) pada saat gerakan menyamping .....	57



## DAFTAR TABEL

Tabel 1 perhitungan titik berat .....	13
Tabel 2 perbandingan tugas terhadap ukuran ROV.....	29
Tabel 3 berat dan volume pipa perbagian .....	33
Tabel 4 Tabel karakteristik cahaya .....	36
Tabel 5 Estimasi titik berat frame desain awal.....	40
Tabel 6 Estimasi Titik berat alat desain awal.....	41
Tabel 7 Estimasi titik berat buoyancy desain awal.....	41
Tabel 8 Estimasi Titik buoyancy alat desain awal .....	42
Tabel 9 Estimasi Titik berat frame desain baru.....	46
Tabel 10 Estimasi titik berat alat desain baru.....	48
Tabel 11 Estimasi Titik Buoyancy frame desain baru.....	48
Tabel 12 Estimasi Titik buoyancy alat desain baru.....	50

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Sebelum dibuatnya alat yang mampu bekerja pada air, pekerjaan bawah laut dilakukan oleh seorang penyelam, dan ini bermasalah besar karena kondisi alam yang membatasi pekerjaan yang dilakukan, contohnya pada inspeksi dasar laut atau tempat yang tidak dapat dijangkau manusia. Sehingga pembuatan alat bantu diperlukan untuk bisa melakukan pekerjaan inspeksi seperti *maintenance* (perbaikan) dan penelitian. Kendaraan bawah laut dapat dibagi menjadi tiga grup, mesin yang dapat dikendalikan dan dikendarai manusia (seperti *submarines*), mesin yang dikendalikan dengan remote kontrol (*Remotely Operated underwater Vehicles* atau *ROV*), dan mesin yang bergerak secara otomatis (*Autonomous Vehicles* atau *AUV*).

Pengembangan sejumlah AUVs dalam tahap desain atau pengujian, memiliki tujuan akhir untuk digunakan di penelitian *oceanographic*. Beberapa didesain untuk penggunaan di pesisir laut, dan yang lainnya didesain pada tengah-tengah kedalaman laut serta mendekati dasar laut. Banyak sekali daftar pengembangan kendaraan bawah laut berdasar fungsinya dan sangat bervariasi. Termasuk ada yang dikembangkan untuk memiliki kemampuan jangka panjang yang dikirim sebagai *platform* pengambilan sampel; dengan mengkombinasikan bermacam alat untuk memetakan fenomena yang berkembang cepat; dan pengiriman jarak jauh ke situs sebagai alat observasi yang dianggap merupakan bagian dari team respon pertama pada lokasi situs. Dengan melihat sejumlah misi tersebut sehingga penggunaan AUVs sebagai penelitian dalam laut merupakan bagian dari kapal selam berawak (*manned submersibles*) dan *remotely operated vehicles*.

*Remotely Operated underwater Vehicles* atau *ROV* banyak digunakan dalam penelitian, komersil, maupun militer. Penggunaan utama adalah untuk penelitian baik dalam lingkungan yang berbahaya bagi manusia atau pada kedalaman laut yang sulit atau tidak bisa didatangi manusia. Umumnya desain *ROV* dibuat dengan material berbahan murah dan rendah konsumsi listrik. Adanya *feature* kamera, tangan robot dan lainnya yang bisa di tambahkan, *ROV* sangat terkenal untuk bidang bawah laut. Selain itu keselamatan operator sangat tinggi pada saat meneliti dasar laut yang belum diketahui, karena dapat dikendalikan jarak jauh. Pendorong pada *ROV* mampu menggerakkan ke kiri, kanan, maju, mundur, atas dan bawah. Gerakan tersebut bisa di kendalikan dengan menggunakan *programmable logic control (PLC)*.

Meskipun aplikasi *Underwater Vehicles* bervariasi tapi perlu dicatat pada umumnya kendaraan dalam air yang didesain untuk penelitian dan inspeksi kelautan memiliki beberapa kesamaan karakter. Yaitu secara proporsional kendaraan ini berukuran kecil dibandingkan yang dikembangkan dengan tujuan militer atau pada industry lepas pantai. Penyebabnya bisa berupa terbatasnya *financial* yang dimiliki komunitas peneliti laut tetapi juga kebutuhan untuk pemudahan pengiriman perintah dan pemulihan / *recovery*. Perbedaan karakter lainnya yang umum yaitu pada bentuk dari kendaraan ini. Selain dari ukuran kecil dan kemampuan *payload* terbatas, pada umumnya kendaraan didesain berebentuk *torpedo* untuk mengurangi hambatan dan meminimalisir *energy* propulsi yang dibutuhkan, tentunya menggunakan biaya. Namun bentuk *torpedo* tidak memiliki kemampuan mengapung di satu tempat, juga kurang stabil saat kondisi *pitch* dan *roll* sehingga tidak baik digunakan di permukaan dasar laut atau kondisi yang kasar. Dilain permasalahan stabilitas bentuk *torpedo* memiliki teknik desain control yang baik.

Pada desain dengan fungsi inspeksi memerlukan kendaraan yang memiliki kemampuan respon control yang baik pada gerakan *horizontal* dan kemampuan mempertahankan posisi *vertical*. Penelitian yang akan

dilakukan mengacu pada desain lambung yang memiliki stabilitas yang baik pada saat maneuver untuk melakukan inspeksi. Selain itu memiliki hambatan kecil dan kemampuan pendorong untuk menunjang fungsi dari ROV yang direncanakan memiliki 4 motor. Lambung ini juga harus ringan tetapi kuat. Pembuatan ROV walaupun bentuknya kecil sangatlah kompleks, dan disini focus penelitian hanyalah pada bentuk lambung dan perhitungan hambatan serta stabilitas.

## 1.2 PERUMUSAN MASALAH

Dari uraian latar belakang di atas, maka dalam Tugas Akhir ini perumusan permasalahan yang diangkat adalah sebagai berikut :

- ✚ Bagaimana desain ROV yang baik dengan memakai dana yang minimum untuk inspeksi bawah laut
- ✚ Bagaimana pengaruh rasio bentuk ROV terhadap hambatan
- ✚ Bagaimana peletakan posisi alat di dalam ROV
- ✚ Bagaimana pengaruh titik berat dan titik bouyancy terhadap stabilitas
- ✚ Bagaimana peletakan thruster sehingga ROV mampu mempertahankan posisi yang stabil

## 1.3 TUJUAN PENULISAN

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

- ✚ Mendapatkan desain bentuk ROV sebagai alat inspeksi.
- ✚ Mengetahui desain ROV yang memiliki hambatan kecil dan stabilitas yang baik.
- ✚ Mengetahui desain awal ROV
- ✚ Mengetahui pengaruh rasio bentuk ROV terhadap hambatan.
- ✚ Mengetahui posisi peletakan alat di dalam ROV
- ✚ Mengetahui pengaruh titik berat dan titik bouyancy terhadap stabilitas pada ROV
- ✚ Mengetahui peletakan thruster sehingga ROV mampu mempertahankan posisi yang stabil

- ✚ Mengetahui daya yang dibutuhkan ROV saat bergerak dengan kecepatan 1-3 knots

#### **1.4 BATASAN MASALAH**

Untuk membatasi permasalahan agar mendapatkan hasil sesuai dengan tujuan penulisan, serta lebih terarah dan sistematis, disamping itu juga karena terbatasnya waktu dan kemampuan penulis. Maka pembahasan dalam Tugas Akhir ini dibatasi sebagai berikut :

- ✚ Desain ROV yang dibahas adalah desain lambung.
- ✚ Kondisi air tenang.
- ✚ ROV didesain dengan kondisi pesisir laut dengan kedalaman tidak lebih dari 1 atm.
- ✚ Komponen di dalam ROV diambil dari desain yang sudah ada.
- ✚ Fokus pengerjaan hanya pada perancangan lambung dan perhitungan estimasi stabilitas, hambatan, dan power propulsi

#### **1.5 MANFAAT PENULISAN**

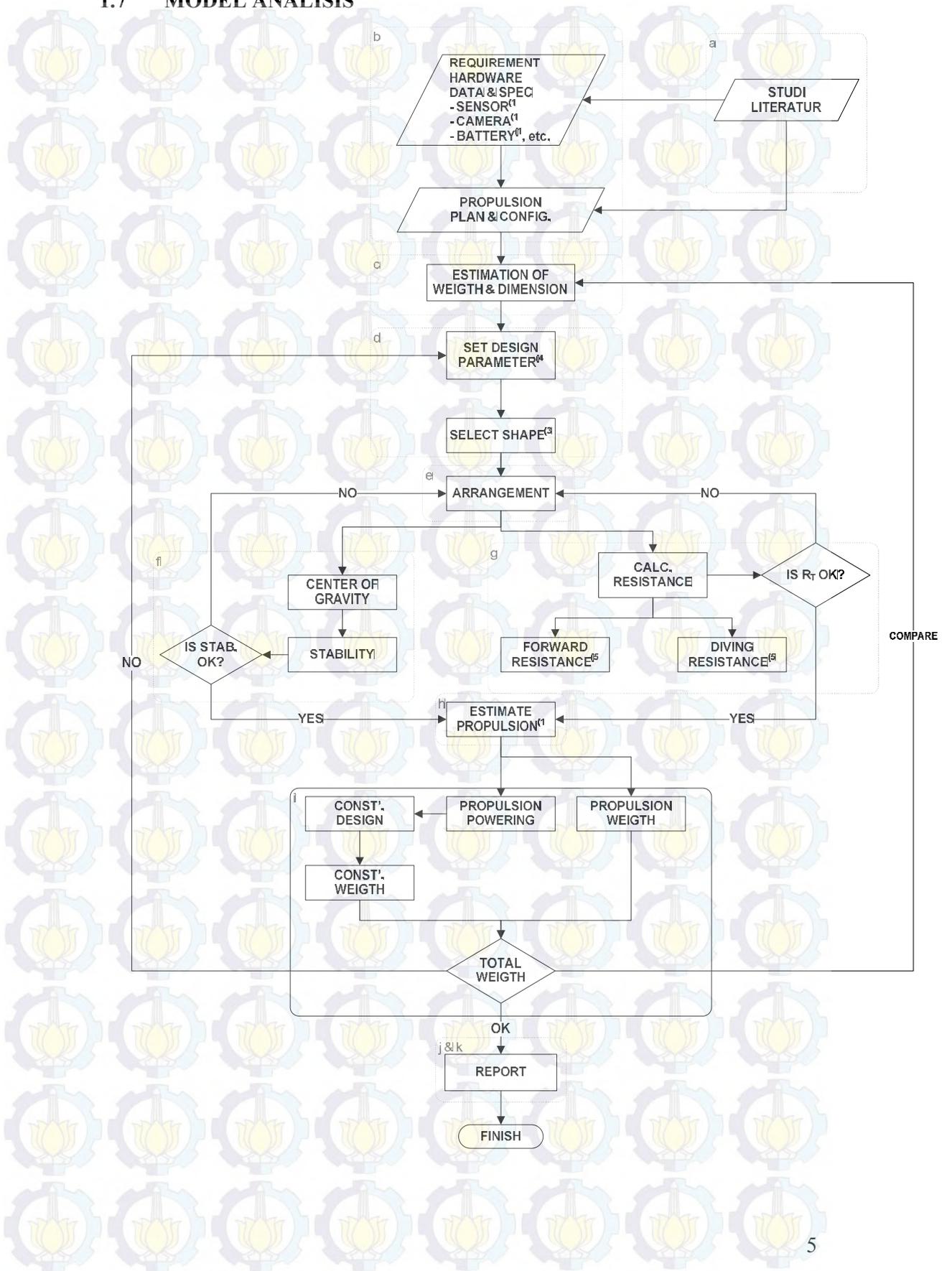
Manfaat yang diharapkan akan diperoleh dengan adanya penulisan tugas akhir ini adalah:

- ✚ Memperoleh gambaran desain bentuk ROV sebagai alat inspeksi.
- ✚ Memperoleh daya motor yang dibutuhkan ROV.
- ✚ Memperoleh pengaruh rasio bentuk ROV terhadap hambatan.
- ✚ Memperluas wawasan penelitian mengenai desain ROV yang memiliki hambatan kecil dan stabilitas yang baik.

#### **1.6 HIPOTESIS**

Peletakan serta berat alat-alat yang ada di dalam ROV mempengaruhi rasio bentuk yang akan didesain. Namun titik berat dan titik buoyancy yang didapat setelah melakukan arrangement masih dalam kondisi stabil.

## 1.7 MODEL ANALYSIS



## **1.8 SISTEMATIKA PENULISAN**

Tugas Akhir ini disusun berdasarkan sistematika penulisan sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi penjelasan tentang keadaan saat ini yang melatarbelakangi penelitian, perumusan masalah, tujuan yang hendak dicapai dari penelitian yang akan dilakukan, batasan masalah, manfaat dari penelitian, hipotesis dan sistematika penulisan laporan resmi tugas akhir ini.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi teori-teori yang menjadi landasan dan pendukung pokok bahasan yang diperlukan dalam pelaksanaan penelitian.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini berisi langkah-langkah terstruktur pelaksanaan penelitian, mulai dari tahap persiapan sampai pengambilan kesimpulan. Dalam bab ini dipaparkan kerangka berpikir dan instrumen-instrumen penelitian yang digunakan hingga diperoleh solusi pemecahan masalah. Metodologi ini digunakan sebagai petunjuk atau arahan agar pelaksanaan penelitian tidak menyimpang dari tujuan penelitian yang sudah ada.

### **BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisi analisa hasil pengolahan berdasarkan data-data yang telah diperoleh. Analisa dimulai dari menghitung kuantitas material konstruksi lambung, sumber daya yang dibutuhkan menggerakkan ROV.

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi tentang penarikan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan, serta saran untuk penelitian selanjutnya tentang analisa dan evaluasi.

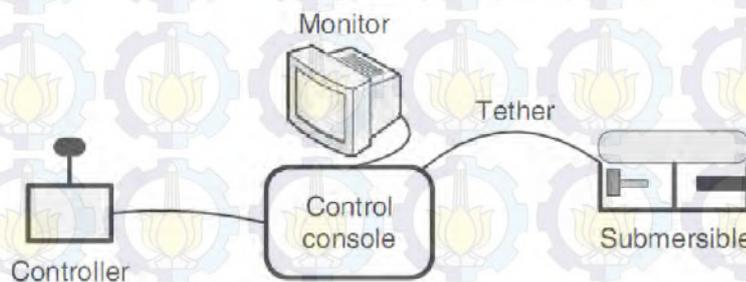
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### II.1. Remotely Operated Vehicle (ROV)

ROV adalah kendaraan bawah air yang didesain untuk memiliki kemampuan mengeksplorasi objek bawah laut. ROV biasanya digunakan untuk kegiatan militer, seperti pencarian kapal, pengawasan jalur pipa bawah air, survei pendeteksian sumber minyak, perbaikan kapal dan keamanan tangki minyak.

ROV bertenaga listrik dan dikontrol melalui system kontrol, dapat bermanuver sesuai perintah manusia dengan pendorong (thruster) hidrolik atau elektrik (Hoong, 2010). Definisi lain disampaikan oleh Christ dan Wernli (2007) dimana ROV adalah kamera yang dipasang dalam wadah tahan air, dengan pendorong untuk bermanuver, yang mengirim audio serta video ke permukaan / pengontrol. Sebuah ROV menerima energi dan informasi dengan panel kontrol yang terletak di permukaan. Dari panel kontrol, operator dapat merencanakan tugas dengan menggunakan satu joystick untuk memanuver kendaraan secara langsung.



Gambar 1 Komponen dasar ROV [3]

##### II.1.1. Sejarah perkembangan ROV

Angkatan laut Amerika Serikat menciptakan teknologi ROV pada tahun 1960. Alat ini diciptakan untuk operasi penyelamatan di laut dan

melihat objek bawah air. Kilang minyak lepas pantai pun turut serta membuat ROV tipe pekerja untuk membantu dalam pembangunan kilang minyak lepas pantai. Setelah beberapa dekade pengenalan, ROV menjadi penting di tahun 1980 ketika pembangunan kilang minyak lepas pantai. Sejak itu, perkembangan teknologi ROV menjadi pesat dan sekarang ROV menunjukkan peran penting untuk berbagai hal. Beberapa kegunaan ROV adalah untuk pengawasan sederhana struktur bawah air, pemasangan pipa bawah air, eksplorasi kapal karam dan pengangkatan material bawah laut (Radio Control Submarine, 2006).

### II.1.2. Klasifikasi ROV

ROV terbagi menjadi tiga kategori:

- **Observation class** – ROV yang didisain ringan dengan sistem propulsi untuk mengirim kamera dan sensor ke suatu tempat untuk mendapatkan gambar dan pengumpulan data.
- **Work class** – ROV yang memiliki rangka besar agar mampu membawa manipulator multi fungsi, hydrolic propulsion, dan alat – alat berat. Biasa digunakan untuk proyek konstruksi bawah laut.
- **Special use** – ROV yang didisain khusus untuk tujuan khusus. Contoh sebagai alat pengubur kabel telekomunikasi di dasar laut.

ROV diklasifikasikan berdasarkan ukuran, berat dan kekuatannya, yang dibagi sebagai berikut :

1. *Micro* –ROV tipe mikro memiliki ukuran dan berat yang sangat kecil. Sekarang beratnya bisa di bawah 3 kg. ROV ini biasa digunakan untuk membantu penyelam, secara spesifik untuk mengakses tempat yang tidak bisa dijangkau seperti gua kecil dan jalur pipa.
2. *Mini* - ROV tipe mini memiliki berat kurang lebih 15 kg. ROV jenis mini dapat dikendarai oleh satu orang seperti kapal kecil. Tipe ini memiliki kekuatan di bawah 5 HP. Biasanya dilengkapi unit sonar dan digunakan untuk survei bawah air. Tipe ini dapat mencapai kedalaman

dibawah 1000 meter dan ada juga yang dibuat untuk mencapai kedalaman 7000 meter.

3. *Light workclass* - tipe ini memiliki kekuatan kira-kira 50 HP. Biasanya memiliki tiga kegunaan. Dibuat dengan bahan – polyethylene, stainless steel atau campuran alumunium. Tipe ini mampu mencapai kedalaman di bawah 2000 meter.
4. *Heavy workclass* – tipe ini memiliki kekuatan kira – kira 220 HP dan mampu mencapai kedalaman sampai dengan 3500 meter.
5. *Trenching / burial* – tipe ini memiliki kekuatan lebih dari 200 HP dan dapat mencapai kedalaman sampai 6000 meter (Remotely Operated Vehicle, 2006).

### II.1.3. Fungsi ROV

- *Diver Observation* – memberikan bantuan dan memastikan keselamatan penyelam.
- *Platform Inspection* – untuk memonitor efek dari korosi, fouling, pencarian crack, atau biologic fouling, dll.
- *Pipeline Inspection* – pemeriksaan pipa bawah air terhadap kebocoran, atau kerusakan lain dan pengecekan pemasangan pipa.
- *Surveys* – baik survei visual ataupun akustik
- *Drilling Support* – pendukung segala sesuatu dari inspeksi visual, monitor instalasi pipa, kabel, dll.
- *Construction Support* – pendukung terhadap tugas yang lebih rumit, menggunakan alat – alat besar.
- *Debris Removal* – ROV mampu memberikan biaya lebih efektif untuk pembersihan tanaman atau kotoran laut secara aman.
- *Subsea Installations* – support pada pembangunan, pengoperasian, inspeksi, pemeliharaan dan perbaikan instalasi bawah laut, terutama di perairan dalam
- *Object Location and Recovery* – sebagai alat pencarian, lokasi, dan penemuan benda – benda yang hilang terutama di perairan dalam.

#### II.1.4. Sumber Listrik untuk ROV

Sumber listrik kendaraan ROV bisa dibagi jadi tiga macam kategori:

- *Surface powered*, sumber daya listrik berasal dari permukaan sehingga diperlukan kabel tether.
- *Vehicle powered*, sumber daya listrik berada pada kendaraan dalam bentuk baterai, sel bahan bakar, atau cara lain yang dapat menyimpan daya yang dibutuhkan.
- *Hybrid system*, sumber daya listrik berasal dari permukaan dan dari kendaraan itu sendiri. Biasanya kendaraan ini membawa daya berupa baterai yang mampu di isi langsung dari permukaan pada saat bertugas.

#### II.1.5. Daya apung (buoyancy)

Daya apung biasanya dibutuhkan oleh ROV untuk menyeimbangkan berat di dalam air dari berat seluruh ROV agar mencapai posisi netral. Beberapa orang menyukai ROV yang tidak terlalu berat dan ada juga yang menyukai ROV yang berat

Daya apung suatu benda dirumuskan dalam hukum Archimedes. Berdasarkan hukum Archimedes, setiap benda yang dicelupkan ke dalam zat cair akan mendapat gaya keatas sebesar berat zat cair yang dipindahkan. Persamaan dapat ditulis sebagai berikut:

$$F_a = V \cdot \rho \cdot g$$

Dimana:  $\rho$  = massa jenis zat cair ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$V$  = volume benda yang tercelup ke dalam zat cair ( $\text{m}^3$ )

$g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m}/\text{dt}^2$ )

$F_a$  = gaya keatas (N)

Gaya apung (buoyancy) ada 3 macam, yaitu :

1. Gaya apung positif (positive buoyancy) : bila suatu benda mengapung.
2. Gaya apung negatif (negative buoyancy) : bila suatu benda tenggelam.
3. Gaya apung netral (neutral buoyancy) : bila benda dapat melayang.



Gambar 2 Gaya apung

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

$$B = -\rho_f V_{\text{disp}} g$$

Dimana  $\rho_f$  adalah densitas dari fluida,  $V_{\text{disp}}$  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 keatas berlawanan dengan arah gravitasi bumi sehingga didapatkan persamaan dibawah ini

$$B = \rho_f V g$$

Suatu benda dapat melayang di dalam air harus memiliki gaya nol seperti prinsip Archimedes yang berlaku, dan dengan demikian jumlah gaya apung dan berat benda dapat dibuat persamaan berikut:

$$F = 0 = mg - \rho_f V g$$

Jika daya apung dari suatu obyek (tak terkendali dan unpowered) melebihi berat, ia cenderung naik. Sebuah objek yang beratnya melebihi berat apung ini cenderung tenggelam. 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, maka prinsip Archimedes dapat diterapkan.

### II.1.6. Titik Berat dan Titik Bouyancy

Suatu benda tegar dianggap tersusun dari banyak partikel karenanya gaya gravitasi bekerja pada tiap-tiap partikel tersebut. Dengan kata lain, setiap partikel mempunyai beratnya masing-masing. Titik berat suatu benda adalah suatu titik pada benda tersebut atau di sekitar benda tersebut di mana berat semua bagian benda terpusat pada titik tersebut.

Apabila suatu benda homogen (kerapatan sebagian benda sama atau benda tersusun dari bahan sejenis) dan bentuk benda simetris (misalnya persegi, persegi panjang, lingkaran) maka titik berat benda berhimpit dengan pusat massa benda yang terletak di tengah-tengah benda tersebut. Untuk segitiga, pusat massa terletak pada  $1/3$  h, di mana h = tinggi segitiga.

a. Untuk benda linier (berbentuk garis)

$$x_0 = \frac{\sum l_n \cdot x_n}{l} \quad y_0 = \frac{\sum l_n \cdot y_n}{l}$$

b. Untuk benda luasan (benda dua dimensi)

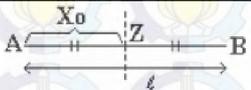
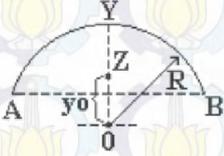
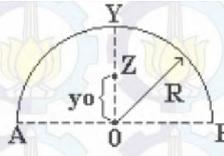
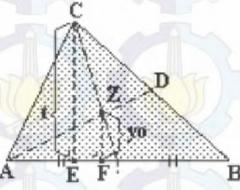
$$x_0 = \frac{\sum A_n \cdot x_n}{A} \quad y_0 = \frac{\sum A_n \cdot y_n}{A}$$

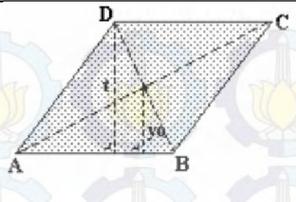
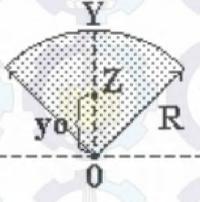
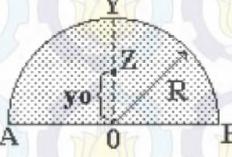
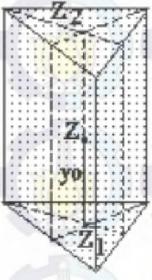
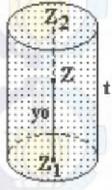
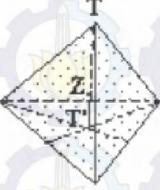
c. Untuk benda ruang (berdimensi tiga)

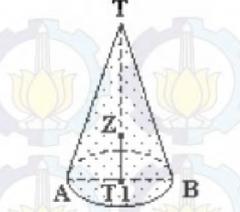
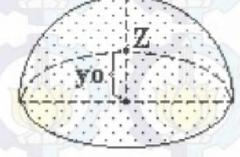
$$x_0 = \frac{\sum V_n \cdot x_n}{V} \qquad y_0 = \frac{\sum V_n \cdot y_n}{V}$$

Sifat dari titik berat, jika bentuk benda simetris dan benda homogen maka titik berat berhimpit dengan pusat massa benda, di mana titik berat dan pusat massa terletak di tengah-tengah benda tersebut. Letak titik berat benda padat bersifat tetap, tidak tergantung pada posisi benda. Dan kalau suatu benda homogen mempunyai dua bidang simetri (bidang sumbu) maka titik beratnya terletak pada garis potong kedua bidang tersebut. Kalau suatu benda mempunyai tiga buah simetri yang melalui satu garis maka titik beratnya terletak pada titik potong ketiga simetri tersebut.

Tabel 1 perhitungan titik berat

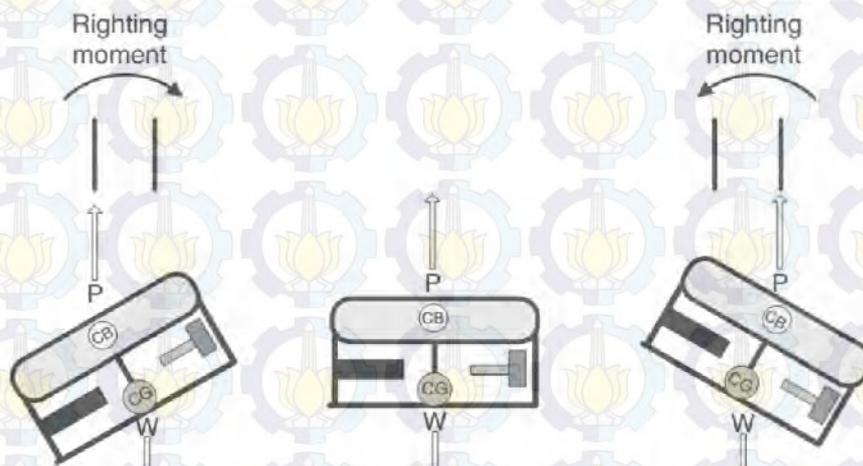
Nama benda	Gambar benda	Letak titik berat	Keterangan
1. Garis lurus		$x_0 = \frac{1}{2} l$	Z = titik tengah garis
2. Busur lingkaran		$y_0 = R \times \frac{\text{tali busur } AB}{\text{busur } AB}$ R = jari-jari lingkaran	
3. Busur setengah lingkaran		$y_0 = \frac{2R}{\pi}$	
Nama benda	Gambar benda	Letak titik berat	Keterangan
4. Bidang segitiga		$y_0 = \frac{1}{3} t$	t = tinggi z = perpotongan garis-garis berat AD & CF

5. Jajaran genjang, belah ketupat, dll		$y_0 = \frac{1}{2} t$	t = tinggi z = perpotongan garis-garis berat AC & BD
6. Bidang juring lingkaran		$y_0 = \frac{2}{3} R \times \frac{\text{tali busur } AB}{\text{busur } AB}$ R = jari-jari lingkaran	
7. Bidang setengah lingkaran		$y_0 = \frac{4R}{3\pi}$ R = jari-jari lingkaran	
Nama benda	Gambar benda	Letak titik berat	Keterangan
8. Prisma beraturan		z pada titik tengah garis $z_1 z_2$ $y_0 = \frac{1}{2} l$ V = luas alas kali tinggi	$z_1$ = titik berat bidang alas $z_2$ = titik berat bidang atas l = panjang sisi tegak V = volume prisma
9. Silinder pejal		$y_0 = \frac{1}{2} t$ $V = \pi R^2 t$	t = tinggi silinder R = jari-jari lingkaran alas
10. Limas pejal beraturan		$y_0 = \frac{1}{4} T T'$ $= \frac{1}{4} t$ V = $\frac{\text{luas alas} \times \text{tinggi}}{3}$	T T' = t = tinggi limas beraturan

11. Kerucut pejal		$y_0 = \frac{1}{4} T T'$ $= \frac{1}{4} t$ $V = \frac{\text{luas alas} \times \text{tinggi}}{3}$	T T' = t = tinggi limas beraturan
12. Setengah bola pejal		$y_0 = \frac{3}{8} R$	R = jari-jari bola

### II.1.7. Kesetimbangan hidrostatik

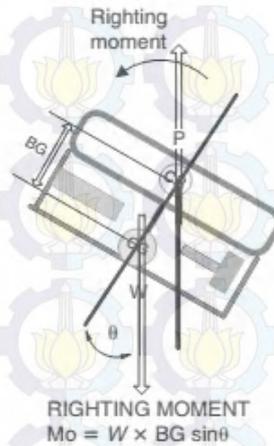
Berdasarkan prinsip Archimedes, semua bagian atau seluruh benda tercelup dalam cairan akan memiliki gaya angkat sebesar berat dari volume cairan tersebut. Gaya yang dihasilkan berat benda memiliki titik tengah yang biasa disebut CG (center of gravity). Dan gaya angkat yang berlawanan dengan gravitasi juga memiliki titik tengah biasa disebut CB (center of buoyancy). Jarak dari titik CG dan CB disebut titik metacentre, biasa disebut GM.



Gambar 3 gaya momen yang terjadi pada ROV

Kesetabilan suatu benda yang melayang di dalam cairan tenang hanya didasarkan pada hubungan gaya berat dan gaya angkat. Apabila kedua

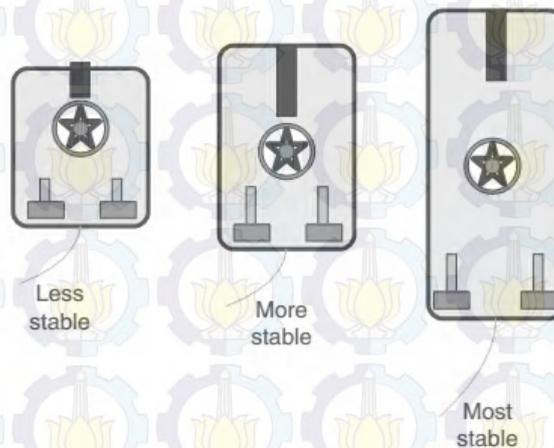
gaya tersebut tidak memiliki gaya vertical yang serupa, maka benda tersebut bisa dikatakan tidak memiliki kestabilan statis, dan akan terjadi gaya rotasi yang besar.



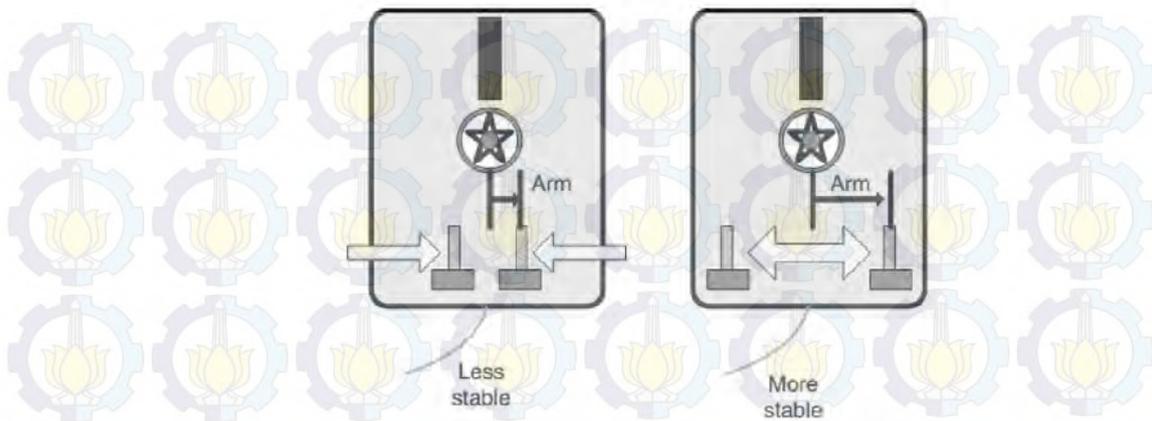
Gambar 4 persamaan gaya momen ROV

### II.1.8. Desain Stability

Pada disain ROV tipe observation, semakin tinggi stabilitas yang dimiliki maka semakin mudah untuk dikendalikan. Karakter disain yang mempengaruhi stabilitas adalah aspek ratio dari total panjang dengan total lebar dari kendaraan, juga penempatan thrusters sangat mempengaruhi dari kestabilan. Untuk aspek ratio optimal ROV dan penempatan thrusters tergantung dari kebutuhan kecepatan maksimum, serta kebutuhan manuevering yang diminta.



Gambar 5 pengaruh aspek ratio terhadap stabilitas



Gambar 6 pengaruh penempatan thrusters terhadap stabilitas

### II.1.9. Hambatan

Drag atau hambatan pada saat pergerakan kapal selam pada saat penyelaman sepanjang longitudinal axis diberikan sebagai berikut:

$$R_T = R_{BH} + R_{APP}$$

dimana  $R_T$  merupakan hambatan total (N), kemudian  $R_{BH}$  merupakan hambatan kapal kosong (N),  $R_{APP}$  merupakan hambatan appendages(N).

$$R_{BH} = \frac{1}{2} \rho A V^2 C_d$$

Shape	Drag Coefficient
Sphere	0.47
Half-sphere	0.42
Cone	0.50
Cube	1.05
Angled Cube	0.80
Long Cylinder	0.82
Short Cylinder	1.15
Streamlined Body	0.04
Streamlined Half-body	0.09

Measured Drag Coefficients

dimana  $\rho$  merupakan massa jenis ( $\text{kg/m}^3$ ), kemudian  $A$  merupakan luasan lambung dibawah air ( $\text{m}^2$ ),  $V$  merupakan kecepatan dari kapal selam mini ( $\text{m/s}$ ) dan  $C_d$  merupakan koefisien hambatan.

### II.1.10. Motor Penggerak ROV

Secara umum kapal yang bergerak di media air dengan kecepatan tertentu, maka akan mengalami gaya hambat (resistance) yang berlawanan dengan arah gerak kapal tersebut. Besarnya gaya hambat yang terjadi harus mampu diatasi oleh gaya dorong kapal (thrust) yang dihasilkan dari kerja alat gerak kapal (propulsor). Daya yang disalurkan (PD) ke alat gerak kapal adalah berasal dari Daya Poros (PS), sedangkan Daya Poros sendiri bersumber dari Daya Rem (PB) yang merupakan daya luaran motor penggerak kapal. Ada beberapa pengertian mengenai daya yang sering digunakan didalam melakukan estimasi terhadap kebutuhan daya pada sistem penggerak kapal, antara lain : (i) Daya Efektif (Effective Power-PE); (ii) Daya Dorong (Thrust Power-PT); (iii) Daya yang disalurkan (Delivered Power-PD); (iv) Daya Poros (Shaft Power-PS); (v) Daya Rem (Brake Power-PB); dan (vi) Daya yang diindikasikan (Indicated Power-PI).

**Daya Efektif (PE)** adalah besarnya daya yang dibutuhkan untuk mengatasi gaya hambat dari badan kapal (hull), agar kapal dapat bergerak dari satu tempat ke tempat yang lain dengan kecepatan servis sebesar  $V_S$ . Daya Efektif ini merupakan fungsi dari besarnya gaya hambat total dan kecepatan kapal. Untuk mendapatkan besarnya Daya Efektif kapal, dapat digunakan persamaan sebagai berikut.

$$PE = R_T * V_S$$

, dimana :

$P_E$  = Daya Efektif, dlm. satuan kWatt

$R_T$  = Gaya Hambat Total, dlm. satuan kN

$V_S$  = Kecepatan Servis kapal [ {Kec. dlm Knots} \* 0.5144 = {Kec. dlm m/det} ]

**Daya Dorong ( $P_T$ )** adalah besarnya daya yang dihasilkan oleh kerja dari alat gerak kapal (*propulsor*) untuk mendorong badan kapal. Daya Dorong merupakan fungsi dari gaya dorong dan laju aliran fluida yang terjadi saat alat gerak kapal bekerja. Adapun persamaan Daya Dorong dapat dituliskan sebagai berikut ;

$$P_T = T * V_a$$

, dimana :

$P_T$  = Daya Dorong, dlm. satuan kWatt

$T$  = Gaya Dorong, dlm. satuan kN

$V_a$  = Kecepatan *advanced aliran fluida di bagian Buritan kapal* [m/det]

$V_S = (1 - w)$ ; yangmana  $w$  adalah *wake fraction* (fraksi arus ikut)

**Daya Yang Disalurkan ( $P_D$ )** adalah daya yang diserap oleh baling-baling kapal guna menghasilkan Daya Dorong sebesar  $P_T$ , atau dengan kata lain,  $P_D$  merupakan daya yang disalurkan oleh motor penggerak ke baling-baling kapal (*propeller*) yang kemudian dirubahnya

menjadi Daya Dorong kapal ( $P_T$ ). Variabel yang berpengaruh pada daya ini adalah Torsi Yang Disalurkan dan Putaran baling-baling, sehingga persamaan untuk menghitung PD adalah sebagai berikut ;

$$P_D = 2\pi Q_D n_p$$

, dimana :

$P_D$  = Daya Yang Disalurkan, dlm. satuan kWatt

$Q_D$  = Torsi Baling-baling kondisi dibelakang badan kapal, dlm. satuan kNm

$n_p$  = Putaran Baling-balin, dlm. satuan rps

**Daya Poros ( $P_S$ )** adalah daya yang terukur hingga daerah di depan bantalan tabung poros (*stern tube*) dari sistem perporosan penggerak kapal. Untuk kapal-kapal yang berpengerak dengan Turbin Gas, pada umumnya, daya yang digunakan adalah  $P_S$ . Sementara itu, istilah Daya Rem (Brake Power,  $P_B$ ) adalah daya yang dihasilkan oleh motor penggerak utama (*main engine*) dengan tipe *marine diesel engines*.

**Efisiensi Lambung,  $\eta_{HULL}$** , adalah rasio antara daya efektif ( $P_E$ ) dan daya dorong ( $P_T$ ). Efisiensi Lambung ini merupakan suatu bentuk ukuran kesesuaian rancangan lambung (*stern*) terhadap *propulsor arrangement-nya*, sehingga efisiensi ini bukanlah bentuk *power conversion* yang sebenarnya. Maka nilai Efisiensi Lambung inipun dapat lebih dari satu, pada umumnya diambil angka sekitar 1,05.

Daya motor penggerak kapal ( $P_B$ ) yang dimaksud adalah Daya Rem (*Brake Power*) atau daya yang diterima oleh poros transmisi sistem penggerak kapal ( $P_S$ ), yang selanjutnya dioperasikan secara kontinyu untuk menggerakkan kapal pada kecepatan servisnya ( $V_S$ ). Jika besarnya efisiensi mekanis pada susunan gearbox, yang berfungsi untuk **me-reduce** dan **me-reverse** putaran motor penggerak, adalah 98 persen (seperti ditunjukkan pada Gambar 2). Maka daya motor penggerak kapal dapat dihitung, seperti persamaan dibawah ini

$$P_{B-CSR} = P_s / 0.98$$

Yang mana  $P_{B-CSR}$  adalah daya output dari motor penggerak pada kondisi *Continues Service Rating* (CSR), yaitu daya motor pada kondisi 80 - 85% dari *Maximum Continues Rating (MCR)*-nya. Arti phisiknya, daya yang dibutuhkan oleh kapal agar mampu beroperasi dengan kecepatan servis  $V_s$  adalah cukup diatasi oleh 80 - 85% daya motor (*engine rated power*) dan pada kisaran 100% putaran motor (*engine rated speed*).

Sehingga untuk menentukan besarnya daya motor yang harus **di-***instal* di kapal, adalah seperti yang ditunjukkan oleh persamaan sebagai berikut

$$P_{B-MCR} = P_{B-CSR} / 0.85$$

Daya pada  $P_{B-MCR}$  inilah yang selanjutnya dapat digunakan sebagai 'ancer-ancer' (acuan) dalam melaksanakan proses *pemilihan* motor penggerak (*Engine Selection Process*).

## II.2. Konstruksi ROV

Konstruksi ROV biasanya memiliki daya apung yang besar di bagian atas yang berupa foam sintetis, untuk mendukung daya apung. Alat pendukung lainnya ditempatkan di bagian bawah dari sistem. Pencahayaan biasanya ditempatkan di bagian depan dan komponen yang berat di bagian bawah, sistem penutup kerangka berada diantara daya apung dan gaya gravitasi, hal ini mendukung kestabilan dan kekuatan untuk pekerjaan bawah air. Kabel elektrik harus terlindung dari korosi air laut. Sistem penggerak biasanya ditempatkan ditiga posisi untuk menghasilkan kontrol yang maksimal. Kamera dan cahaya dengan komponen pendukungnya berada di bagian depan ROV yang kadang-kadang membantu untuk manuver.

Dewasa ini, *workclass* ROV didesain seperti penjelasan di atas. Bagaimanapun ini bukan satu-satunya cara untuk membangun ROV. Secara khusus, ROV yang sangat kecil memiliki desain yang sangat berbeda tergantung dari kegunaannya. Salah satu perusahaan pembuat ROV telah memodifikasi sayap untuk memudahkan pergerakan agar lebih efisien di dalam kondisi arus yang besar.

### II.2.1 Rangka

Rangka yang digunakan dalam ROV dapat berasal dari beberapa bahan seperti besi, aluminium, PVC, dan Polimetil Metakrilik. Ukuran rangka ROV sangat bergantung dari beberapa kriteria berikut : (Christ dan Wernli, 2007)

- i. Berat total ROV di udara,
- ii. Volume komponen di dalam ROV,
- iii. Volume sensor dan instrumen,
- iv. Volume daya apung,
- v. Kriteria beban bantalan poros dari rangka.

Mini ROV yang akan dibuat menggunakan pipa PVC. Pipa PVC digunakan karena memiliki kelebihan yakni sulit rusak, tahan lama, tidak berkarat, dapat digunakan setiap waktu, dan awet (Kietzman, 2011).

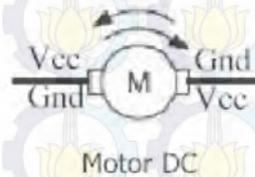
### II.2.2 Motor pendorong/ *thruster*

Jenis motor dapat dibedakan menjadi dua yakni motor AC dan motor DC. Sejauh ini, ROV menggunakan motor DC karena kekuatan, ketersediaan, keragaman, kehandalan, dan kemudahan antarmuka (*interface*). Bagaimanapun juga motor DC memiliki kesulitan dalam desain dan karakteristik operasionalnya. Faktor-faktor yang membuatnya jauh dari sempurna untuk aplikasi ini meliputi:

- Kecepatan optimum motor jauh lebih tinggi dari kecepatan rotasi baling-baling *in-water* normal sehingga perlu diberikan gigi untuk memperoleh kecepatan efisien operasi.
- Motor DC menyerap arus yang banyak.

- Motor DC membutuhkan skema kontrol *Pulse Width Modulation* (PWM) motor yang rumit untuk mendapatkan operasi yang tepat. (Christ dan Wernli, 2007)

Motor DC biasa digunakan karena memiliki kecepatan dan torsi yang bagus serta mudah dikontrol arah putaran dan kecepatannya. Motor DC memiliki 2 pin *input* yaitu tegangan dan *ground*. Pembalikan arah putaran motor DC dapat dilakukan dengan membalikkan masukan tegangan dan *ground*.



Gambar 7 Konfigurasi motor DC (Sumber: Delta Electronic, 2007)

*Bilge pump* merupakan salah satu jenis pompa yang menggunakan motor DC. *Bilge pump* biasa digunakan di dalam kapal atau perahu untuk menyedot air yang ada di lambung kapal. *Bilge pump* (Gambar ) dioperasikan pada tegangan 12 VDC dengan arus yang sesuai dengan tipe dari *bilge pump* itu sendiri. Mini ROV yang akan dibuat menggunakan motor DC pada *bilge pump* ini sebagai penggerak ROV karena motor ini sudah kedap air.



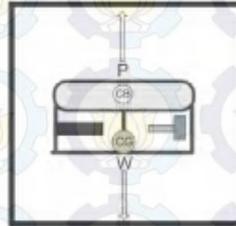
Gambar 8 *Bilge pump*

## II.2.4 Daya apung

Daya apung suatu benda dirumuskan dalam hukum archimedes. Berdasarkan hukum archimedes, setiap benda yang tercelup sebagian atau seluruhnya dalam fluida akan terangkat ke atas oleh gaya yang sama dengan

berat dari fluida yang dipindahkan.

Resultan semua gaya berat pada fluida yang dipindahkan berada di tengah badan dan dikenal dengan istilah “*Center of Gravity*” (CG). CG merupakan jumlah dari semua gaya berat yang bekerja pada badan akibat gravitasi bumi. Resultan gaya apung berlawanan dengan tarikan gravitasi. Resultan ini mengarah ke atas melalui CG dan dinamakan “*Center of Buoyancy*” (CB) (Christ dan Wernli, 2007).



Gambar 9 CG dan CB pada ROV (Sumber: Christ dan Wernli, 2007)

## II.2.5 Kamera

Kamera merupakan bagian yang penting dalam sebuah ROV. Kamera dapat dianggap sebagai “mata” ROV. Setiap ROV menggunakan kamera ataupun video kamera untuk navigasi maupun untuk memotret benda yang ada di dalam air. Saat ini, sebagian besar sistem ROV yang berukuran kecil menggunakan perangkat kamera *charge-coupled device* (CCD) yang harganya murah. Sistem kamera ini terpasang pada papan sirkuit kecil dan menghasilkan sinyal video yang ditransmisikan melalui kabel ke piranti penangkap video (Christ dan Wernli, 2007).

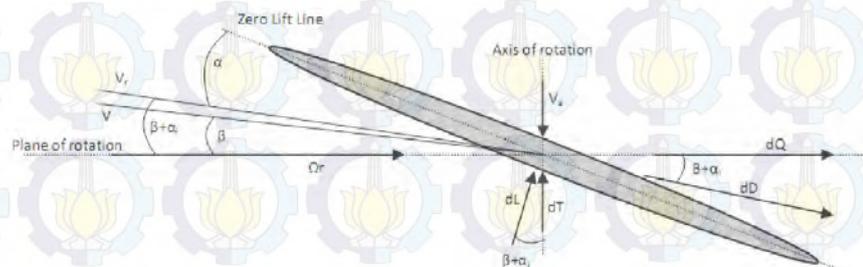


Gambar 10 Kamera CCD (Sumber: Toko Komputer, 2009)

## II.2.6 Baling-baling

Baling-baling berfungsi sebagai penggerak ROV. Putaran baling-baling akan membuat aliran fluida mendorong ROV. Arah putaran baling-baling juga akan mempengaruhi aliran fluida. Baling-baling didesain untuk bergerak dan mengarahkan fluida berlawanan dengan arah gerak (Christ dan Wernli, 2007).

Baling-baling biasanya didesain dengan geometri kompleks yang berubah sepanjang radius bilahnya. Geometri kompleks ini dapat diurai dalam bagian-bagian yang lebih kecil dimulai dari pangkal hingga ujung dari baling-balingnya. Setiap bagian dapat diubah untuk mengoptimalkan daya angkat yang dibutuhkan pada bagian yang ditambahkan. Diagram interaksi gaya dapat membantu memahami dasar dari bagian baling-baling ini. Dasar gaya vektor dan sudutnya dapat dilihat pada **Gambar** (Schultz, 2009).



Gambar 11 Ilustrasi gaya dan kecepatan vektor

(Sumber: Schultz, 2009)

Pada Gambar,  $\Omega$  merupakan frekuensi rotasi dan  $r$  adalah jarak radial dari bagian tengah pusat baling-baling,  $\Omega r$  merupakan vektor kecepatan sudut,  $V_a$  merupakan vektor kecepatan depan (*forward velocity vector*),  $V$  merupakan vektor kecepatan baling-baling (jumlah vektor  $\Omega r$  dan  $V_a$ ).  $dQ$  merupakan perubahan torsi dan  $dT$  merupakan perubahan daya dorong (Schultz, 2009).

### II.2.7 Catu daya

Sumber tenaga ROV dapat menggunakan tegangan AC maupun DC. Tegangan AC memiliki kemampuan mentransmisikan energi lebih jauh dibandingkan DC. Tegangan DC memiliki kelebihan dalam biaya yang murah dan berat komponen kabel. Tegangan DC memiliki *inductance noise* yang kecil sehingga tidak perlu memberikan pelindung kabel lagi. Tidak seperti tegangan AC yang harus diberikan pelindung kabel agar rangkaian tetap aman (Christ dan Wernli, 2007).

Penggunaan sumber tegangan disesuaikan dengan keinginan pembuat. Banyak faktor yang harus dipikirkan dalam memilih jenis dan besarnya tegangan yang akan digunakan. Beberapa operator lebih menyukai untuk menggunakan *inverter* agar dapat menggunakan tegangan AC. Beberapa sistem ROV yang lebih kecil hanya menggunakan tegangan DC sebagai sumber tenaga mereka. Pada intinya, tujuan catu daya adalah mengirimkan tenaga untuk menggerakkan *thruster* saat beroperasi (Christ dan Wernli, 2007).

### II.2.8 Tether/ kabel

*Tether* adalah suatu kumpulan kabel yang dapat mengalirkan dan memuat daya listrik, video, maupun sinyal data untuk komunikasi antara operator dan wahana bawah air. Biasanya kabel terbuat dari tembaga atau fiber optic.

*Tether* menjadi sangat penting dalam ROV dan menjadi kunci kesuksesan pengembangan ROV. *Tether* digunakan karena gelombang Frekuensi Radio (RF) tidak dapat digunakan dalam air. Gelombang RF hanya dapat melakukan penetrasi beberapa panjang gelombang saja di dalam air dikarenakan atenuasinya yang sangat tinggi. Selain itu, penggunaan *tether* menjadi pilihan saat ini karena penggunaan transmisi hidroakustik tidak memadai. Transmisi hidroakustik terbatas pada 100 kilobyte tiap detik. Hal ini sangat tidak cukup untuk membawa data video resolusi tinggi. Oleh karena itu, penggunaan *tether* menjadi mutlak pada ROV agar dapat bekerja secara penuh (Christ dan Wernli, 2007).

## II.2.9 Pencahayaan

Pencahayaan sangat diperlukan oleh ROV untuk membantu pengamatan di dalam air. Seperti diketahui bahwa di dalam air cahaya semakin redup karena adanya penghamburan dan penyerapan. Kedua hal ini yang mempengaruhi kejernihan air. Selain itu, pencahayaan diperlukan untuk memperlihatkan warna asli dari suatu objek. Di dalam air, warna merah terserap pada kedalaman beberapa cm saja.

Lampu yang digunakan merupakan jenis LED (*Light Emitting Diode*). LED merupakan semikonduktor yang memancarkan spektrum cahaya inkoheren dekat ketika secara elektrik dipasang pada arah maju. Efek ini merupakan bentuk dari elektroluminesen. Warna yang dipancarkan tergantung dari komposisi kimia dari material semikonduktor yang digunakan. Warnanya dapat berupa ultraviolet dekat, cahaya tampak, atau infra merah. Teknologi LED sangat berguna untuk pencahayaan bawah air karena konsumsi tenaga rendah, pembangkitan panas rendah, dapat dikontrol hidup/mati secara cepat, warna tetap selama masa hidup LED, jangka pemakaian panjang, dan biaya pembuatan murah (Christ dan Wernli,2007).



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## BAB III METODOLOGI

### III.1 Desain ROV

Pada umumnya wahana bawah air harus memiliki beberapa fitur antara lain sumber tegangan, sistem propulsi, sistem kontrol, sistem navigasi, sensor, dan sistem yang berfungsi sebagai penggerak wahana bawah air tanpa awak secara horisontal maupun vertikal. Fitur-fitur tersebut umumnya dimiliki oleh sistem wahana bawah air tanpa awak salah satunya ROV.

Desain lambung yang dikembangkan hanya melihat dari fungsi ROV itu sendiri. Dengan berbagai kebutuhan dasar yang harus dipenuhi dalam pengembangannya, Untuk pemilihan desain harus sesuai dengan fungsi utama atau tujuan dari mengapa ROV tersebut dibuat. Dalam disain ini tujuan utamanya merupakan observasi visual pada perairan air laut. Dari situ maka diketahui peralatan yang dibutuhkan pada disain yang nantinya akan dibuat yaitu dibutuhkannya kamera.

Berbagai macam ukuran ROV class memiliki perforama sendiri-sendiri, makin besar system akan memiliki payload dan thruster semakin besar, sehingga mampu beroperasi di perairan yang lebih luas. Semakin kecil system ROV memiliki keuntungan sendiri yaitu mampu bekerja di tempat sempit serta lebih lincah untuk melakukan olah gerak. Berikut contoh perbandingan tugas terhadap ukuran pada ROV

Tabel 1 perbandingan tugas terhadap ukuran ROV

Task	Size
<i>External pipeline inspection</i>	<i>Large</i>
<i>External hull inspection</i>	<i>Medium/Large</i>
<i>Internal wreck survey</i>	<i>Small</i>
<i>Open water scientific transect</i>	<i>Medium/Large</i>

Dalam mendesain ROV perlu diperhatikan peletakan titik berat atau *center gravity* (CG) dan titik apung atau *center buoyancy* (CB). Dimana titik-titik tersebut adalah dua pusat gaya tak terlihat yang terjadi apabila suatu benda tercelup ke dalam air. Perlu diperhatikan bahwa titik apung harus diatas dari titik berat, bila tidak maka kendaraan tidak stabil dan menyebabkan berputar. Untuk mendapatkan kestabilan yang lebih maka jarak dari dua titik CG dan CB dibuat semakin besar, semakin jauh jarak titik tersebut semakin baik pula kestabilan dari ROV.

Setelah memahami dasar-dasar pembuatan desain ROV maka berikutnya malakukan pemilihan bentuk dasar sederhana ROV yang akan dibuat. Dalam hal ini bentuk dasar ROV yang kami bagi ada dua yaitu *open frame* dan *closed frame*.

*Open frame* ROV adalah ROV dimana *frame* / rangka serta alat-alat utama berupa kamera, lampu, sensor, dll dari kendaraan ini tampak mata. Sedangkan *closed frame* ROV adalah ROV dimana *frame* / rangka serta alat-alat utama berupa kamera, lampu, *sensor*, dll dari kendaraan ini tertutup oleh satu pelindung air yang juga dibentuk dengan kemampuan aerodinamis.



Gambar 1 Closed frame ROV

*Closed frame* ROV biasanya didesain dengan aerodinamis yang tinggi serta pendorong (*thruster*) maju lebih besar dari pada pendorong lainnya. Dari konfigurasi tersebut ROV ini akan memiliki kecepatan laju yang tinggi karena gaya dorong yang besar.



Gambar 2 Open frame ROV

Untuk *open frame* ROV biasanya didesain dengan bentuk kotak dengan tiap-tiap alat memiliki pelindung air sendiri, selain itu tipe ini memiliki thruster lebih banyak dari pada tipe *closed frame* ROV. Dengan konfigurasi tersebut ROV ini akan memiliki kemampuan *maneuvering* yang lebih baik.

Dari dasar tersebut kami memutuskan untuk memilih desain dengan tipe *open frame* ROV dikarenakan fungsi utama desain yang dibuat adalah inspeksi dimana pekerjaan utama yang dilakukan membutuhkan kemampuan *maneuvering* dari pada kecepatan tinggi.

### III.2 Komponen ROV

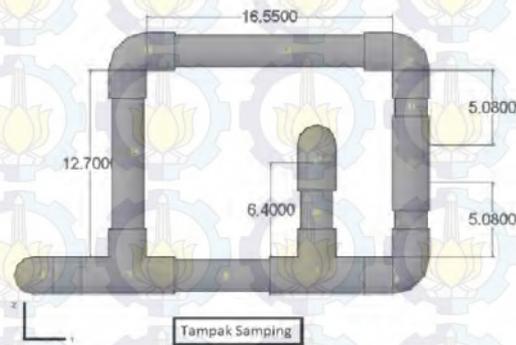
Komponen ROV terdapat beberapa alat dan bahan. Bahan yang digunakan harus memiliki daya tahan yang baik terhadap korosi dikarenakan tempat pengoprasian yang memiliki sifat korosi yang tinggi, kuat terhadap tekanan akibat perubahan kedalaman tekanan, tahan terhadap benturan, mudah dibentuk dan dicari. Disain utama yang akan dilakukan didasarkan pada kebutuhan harga yang murah.

#### 3.2.1 *Frame* (bingkai)

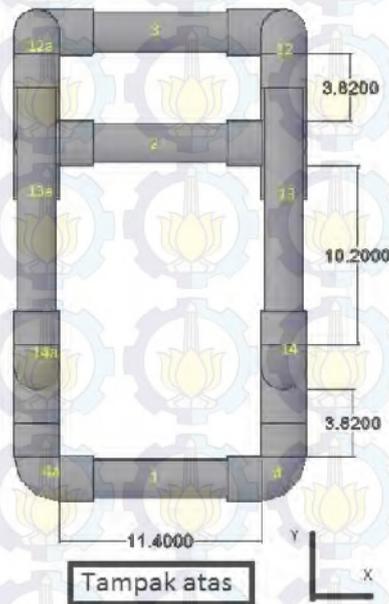
*Frame* dari ROV harus mampu menyediakan platform yang kuat untuk pemasangan, atau penempelan, seperti mekanik, listrik, dan propulsi komponen yang diperlukan. Ini termasuk perkakas / instrumen seperti sonar, kamera, pencahayaan, manipulator, *scientificsensor*, dan peralatan pengambil sampling. *Frame* ROV telah dibuat mulai dari bahan plastik

komposit sampai aluminium tubing. Secara umum, bahan yang digunakan dipilih untuk memberikan kekuatan maksimum dengan bobot minimum. Namun beban harus setara dengan daya apung, ini sangat penting.

Frame ROV yang akan dibuat menggunakan pipa 1/2" PVC *Schedule 40* dengan diameter pipa plain 2.1336 cm dan diameter pipa T dan elbow 2.54 cm. Pipa PVC dipilih karena memiliki kelebihan yakni sulit rusak, tahan lama, tidak berkarat, membusuk, mudah merubah bentuk dan ukuran serta memiliki daya apung sendiri. Disain awal frame ROV dengan panjang 28 cm dan lebar 16.48 cm yang dibuat dapat dilihat pada gambar.



Gambar 3 Frame ROV tampak samping



Gambar 4 frame ROV tampak atas

Pipa-pipa ini dibagi menjadi beberapa bagian untuk nantinya memudahkan dalam perhitungan. Volume dan berat dari masing-masing bagian dapat dilihat pada table berikut.

Tabel 2 berat dan volume pipa perbagian

Pipa no.	Berat (gr)	Volume (cm <sup>3</sup> )
1	26.9724	27.1368
2	26.9724	27.1368
3	26.9724	27.1368
4	21.7724352	29.4139
4a	21.7724352	29.4139
5	30.3906908	48.2639
5a	30.3906908	48.2639
6	24.1332	22.8463
6a	24.1332	22.8463
7	30.3906908	48.2639
7a	30.3906908	48.2639
8	21.7724352	29.4139
8a	21.7724352	29.4139
9	12.01928	4.5407
9a	12.01928	4.5407
10	30.3906908	48.2639
10a	30.3906908	48.2639
11	12.01928	4.5407
11a	12.01928	4.5407
12	21.7724352	29.4139
12a	21.7724352	29.4139
13	39.1573	45.5497
13a	39.1573	45.5497
14	21.7724352	29.4139
14a	21.7724352	29.4139
15	30.0482	31.7847
15a	30.0482	31.7847
16	15.1424	9.2601
16a	15.1424	9.2601
17	21.7724352	29.4139
17a	21.7724352	29.4139

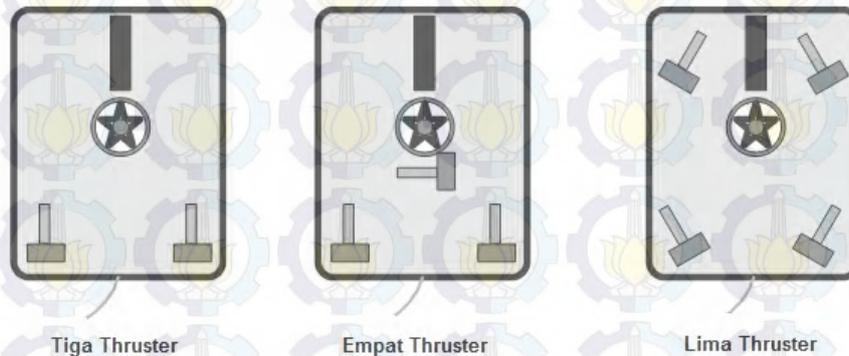
Motor penggerak ke atas dan kesamping akan diletakkan di tengah-tengah, sedangkan motor penggerak maju diletakkan pada sisi kanan dan kiri. Frame ROV memiliki tinggi 17.78 cm, sedangkan panjangnya 28 cm.

### 3.2.2 Thruster

System propulsi ROV dibuat dengan dua atau lebih pendorong (thruster) supaya wahana bergerak sesuai dengan yang diperlukan dalam navigasi. Thruster harus diposisikan didalam wahana sehingga momen kanan dan kiri yang terjadi saat bergerak relative berada di tangan massa dari kendaraan.

Peletakan thrust pada wahana ROV memiliki berbagai macam pilihan, disesuaikan untuk pergerakan maneuver. Maneuver dapat terjadi berdasarkan perbedaan besar gaya dorong atau penempatan thruster sendiri.

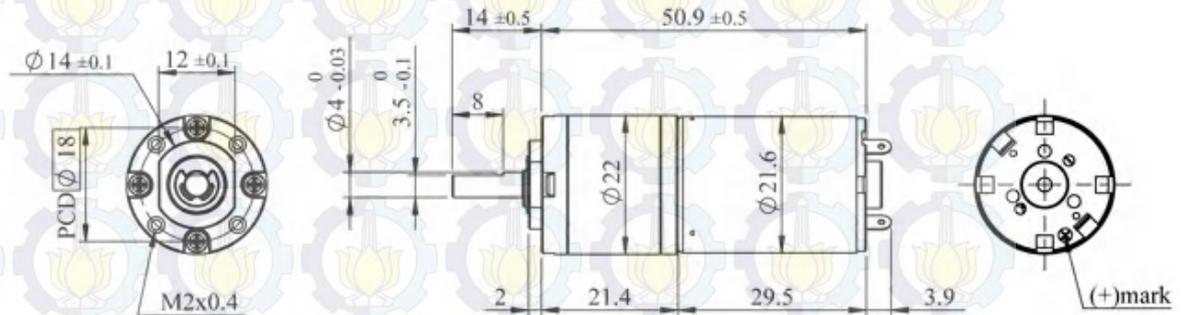
Penggunaan tiga thruster hanya bisa melakukan maneuver fore/aft/yaw, sedangkan empat thruster bisa melakukan gerakan menyamping. Variasi lima thruster dapat melakukan gerakan yang lebih kompleks lagi.



Gambar 5 Peletakan Thruster secara umum

Pada disain ROV disini akan menggunakan empat thruster sehingga mampu bergerak ke kanan kiri, atas bawah, dan maju mundur. Motor yang digunakan adalah motor 12 volt DC dengan ukuran diameter 22 mm dan panjang 50.9 mm. Memiliki daya maksimal sebesar 58.8 W, output power efficiency sebesar 2.7 W. Sedangkan propellernya memiliki

ukuran diameter 2.54 cm dan kemampuan pitch 4.0132 cm. Motor dan propeller yang digunakan didapat dari produk yang sudah ada.



Gambar 6 motor DC beserta ukuran dalam mm (servocity)



Gambar 7 propeller berdiameter 2.54 cm pitch ratio 1.58 (TOWER HOBBIES)

Motor ini tidak didisain untuk dapat bertahan di dalam air, maka diperlukan suatu wadah yang dapat menampung motor. Wadah yang akan digunakan berupa plastic wax yang memiliki volume 30 cc.

### 3.2.3 Kamera

Pada kondisi dalam air pencahayaan sangat diperlukan karena cahaya luar tidak akan cukup pada kondisi kedalaman air tertentu. Beberapa tipe lampu senter yang dapat digunakan di dalam air yaitu incandescent, fuorescent, high-intensity gas discharge, dan light-emitting diode (LED), semua memiliki kelebihan serta kekurangan. Semua tipe dibuat untuk mensimulasi warna natural yang terjadi dilingkungan bawah air

Tabel 3 Tabel karakteristik cahaya

Source	Lumens/watt	Life (h)	Color	Size	Ballast
Incandescent	15–25	50–2500	Reddish	M–L	No
Tungsten–halogen	18–33	25–4000	Reddish	S–M	No
Fluorescent	40–90	10 000	Varies	L	Yes
Green fluor.	125	10 000	Green	L	Yes
Mercury	20–58	20 000	Bluish	M	Yes
Metal halide	70–125	10 000	Varies	M	Yes
High-Press. sodium	65–140	24 000	Pink	M	Yes/I
Xenon arc	20–40	400–2000	Daylight	VS	Yes/I
HMI/CID	70–100	200–2000	Daylight	S	Yes/I
Low-press. sodium	100–185	18 000	Yellow	L	Yes
Xenon flash	30–60	NA	Daylight	M	NA

V, very; S, small; M, medium; L, large; I, ignitor required; NA, not applicable.



Gambar 8 Kamera CCD

Kamera yang dipakai untuk system ROV berukuran kecil yaitu menggunakan tipe kamera *charge coupled device (CCD)* dikarenakan lebih terjangkau. Kamera ini dipasang di papan sirkuit kecil dan menghasilkan sinyal video yang nantinya disimpan dan dikirim ke permukaan. Kamera CCD ini berukuran panjang 5 cm, diameter 3.75 cm dan berat 0.12 kg. Kamera ini sudah memiliki lampu LED, resolusi tinggi dan sangat efektif di lingkungan cahaya rendah.

### 3.2.4 Kontrol

ROV bergerak dengan menggunakan kontroler sebagai penghubung antara pilot dengan kendaraan. Kemampuan pilot sangat membuat perbedaan besar terhadap performa dari ROV, jadi sangat dianjurkan agar pilot berlatih sebanyak mungkin dan seefisien mungkin.

Pilot menggerakkan ROV dengan mengirim sinyal menggunakan tether kabel untuk mengaktifkan motor sebagai penggerak putar propellers. Tipe ROV SCOUT, switches digunakan untuk mengaktifkan atau nonaktifkan motor, dan sebagai penggerak arah mundur, dengan cara menggunakan DPDT switch.



Gambar 9 DPDT switch

DPDT switch digunakan untuk membuat motor dapat bergerak atau berputar terbalik sehingga menghasilkan ROV dapat bergerak berlawanan arah. Kejelekan penggunaan switch yaitu tidak menghasilkan control yang proporsioanl, jadi saat menggerakkan switch sedikit hanya menghasilkan gerakan yang sangat pelan, sedangkan saat switch ditekan lebih mengakibatkan acceleration yang berlebihan. Namun masalah ini dapat diatasi dengan menggunakan pengaturan alat elektronik yang lebih canggih.

Penggerak atau control ROV yang lebih canggih yaitu menggunakan joystick, menempel pada computer dan electronic speed controller (ESC) untuk dapat menggerakkan ROV lebih proporsional. Dengan joystick pergerakan bisa menghasilkan kecepatan yang lebih

akurat, yang mana bisa menghasilkan gerakan lebih leluasa serta efisien saat ROV bertugas.



Gambar 10 joystick

Ada banyak macam tipe ESC, dan harus dipilih berdasarkan fungsi yang akan dipakai sebagai input dari 12 volts DC dan output ampere (A) berdasarkan kebutuhan trusther motor.



Gambar 11 electronic speed controller (ESC)

Apabila gerakan yang diinginkan adalah berputar kearah kiri, sebagai contoh maka dengan bantuan ESC bisa dilakukan dengan cara mengurangi putaran motor sebelah kiri namun putaran motor sebelah kanan tetap tinggi sehingga ROV akan berputar kearah kiri.

ROV yang memiliki alat tangan robot akan memiliki kontroler elektronik yang lebih canggih lagi, untuk bisa melakukan tugas-tugas yang diberikan pilot. Sedangkan untuk komponen semacam lampu dan kamera, control yang diberikan lebih sederhana yaitu hanya switch on atau off.

### 3.2.5 Navigasi

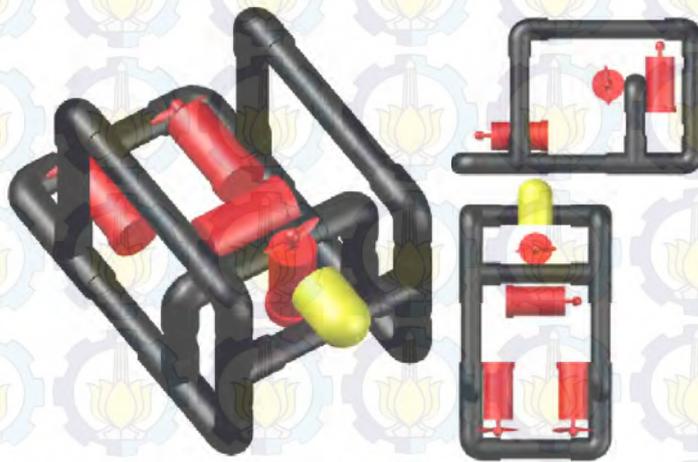
Navigasi untuk kendaraan ROV dilakukan dengan cara pilot melihat langsung dengan mata dia dalam menyupir kemana arah yang

diinginkan. Namun untuk kondisi air yang tidak jernih atau kedalaman tertentu maka diperlukan kamera anti-air yang dipasang di kendaraan. Untuk ROV yang mampu menyelam sampai kedalaman tertentu biasanya dibutuhkan alat sensor navigasi yang juga ditanam pada ROV, dan sensor tersebut akan mengirimkan data seperti kedalaman atau arah ke komputer melalui kabel tether.

### III.3 Titik Berat dan Titik Bouyancy Disain Awal ROV

#### 3.3.1. Titik Berat ROV

Titik berat sebuah benda disebut juga titik keseimbangan benda atau titik dimana benda akan seimbang tanpa ada kecenderungan untuk berputar. Titik berat sering diidentifikasi sebagai titik dimana seluruh berat benda tersebut terpusat, dititik dimana berat benda bekerja. Titik berat harus dihitung dengan akurat untuk mengetahui keseimbangan dari benda. Untuk mengetahui titik berat perlu menghitung gaya linier dan gaya rotasi yang bekerja harus seimbang.



Gambar 12 Desain awal ROV

Koordinat titik berat suatu benda dengan berat masing-masing  $W_1, W_2, \dots, W_i$  ; yang terletak pada koordinat  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_i, y_i)$  adalah:

$$X = (\sum W_i \cdot x_i) / (W_i)$$

$$Y = (\sum W_i \cdot y_i) / (W_i)$$

Titik berat pada frame pipa pvc dihitung perbagian sesuai dengan letak masing-masing koordinat. Dari origin koordinat adalah pusat pipa no.1, Sehingga didapat koordinat pipa:

Tabel 4 Estimasi titik berat frame desain awal

pipe number	Berat (gr)	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Berat * X	Berat * Y	Berat * Z
1	26.9724	0	0	0	0	0	0
2	26.9724	0	19.09	8.94	0	514.9031	241.1333
3	26.9724	0	25.4925	7.62	0	687.5939	205.5297
4	21.7724352	6.1747	0.8185	0	134.4383	17.82074	0
4a	21.7724352	-6.1747	0.8185	0	-134.438	17.82074	0
4.5	8.9908	6.97	3.18	0	62.66588	28.59074	0
4.5a	8.9908	-6.97	3.18	0	-62.6659	28.59074	0
5	30.3906908	6.97	6.35	0.5292	211.8231	192.9809	16.08275
5a	30.3906908	-6.97	6.35	0.5292	-211.823	192.9809	16.08275
6	24.1332	6.97	12.72	0	168.2084	306.9743	0
6a	24.1332	-6.97	12.72	0	-168.208	306.9743	0
7	30.3906908	6.97	19.09	0.5292	211.8231	580.1583	16.08275
7a	30.3906908	-6.97	19.09	0.5292	-211.823	580.1583	16.08275
7.8	8.9908	6.97	22.26	0	62.66588	200.1352	0
7.8a	8.9908	-6.97	22.26	0	-62.6659	200.1352	0
8	21.7724352	6.97	24.6115	0.8185	151.7539	535.8523	17.82074
8a	21.7724352	-6.97	24.6115	0.8185	-151.754	535.8523	17.82074
9	12.01928	6.97	25.435	3.81	83.77438	305.7104	45.79346
9a	12.01928	-6.97	25.435	3.81	-83.7744	305.7104	45.79346
10	30.3906908	6.4408	25.43	7.62	195.7404	772.8353	231.5771
10a	30.3906908	-6.4408	25.43	7.62	-195.74	772.8353	231.5771
11	12.01928	6.97	25.435	11.43	83.77438	305.7104	137.3804
11a	12.01928	-6.97	25.435	11.43	-83.7744	305.7104	137.3804
12	21.7724352	6.97	24.6215	14.4215	151.7539	536.07	313.9912
12a	21.7724352	-6.97	24.6215	14.4215	-151.754	536.07	313.9912
13	39.1573	6.97	15.895	15.24	272.9264	622.4053	596.7573
13a	39.1573	-6.97	15.895	15.24	-272.926	622.4053	596.7573
14	21.7724352	6.97	7.1685	14.4215	151.7539	156.0757	313.9912
14a	21.7724352	-6.97	7.1685	14.4215	-151.754	156.0757	313.9912
15	30.0482	6.97	6.35	7.62	209.436	190.8061	228.9673
15a	30.0482	-6.97	6.35	7.62	-209.436	190.8061	228.9673

16	15.1424	6.97	19.09	4.47	105.5425	289.0684	67.68653
16a	15.1424	-6.97	19.09	4.47	-105.543	289.0684	67.68653
17	21.7724352	6.1515	19.09	8.1215	133.9331	415.6358	176.8248
17a	21.7724352	-6.1515	19.09	8.1215	-133.933	415.6358	176.8248
Jumlah	781.9882				0	12116.16	4772.574

Maka didapat koordinat titik berat frame X, Y, Z adalah 0, 15.49, 6.1

Tabel 5 Estimasi Titik berat alat desain awal

alat	Berat (gr)	X	Y	Z	w*X	w*Y	w*Z
motor kanan	65.5582	4.0783	2.0894	3.1012	267.3659	136.9772	203.309
motor kiri	65.5582	-4.0783	2.0894	3.1012	-267.366	136.9772	203.309
motor atas	65.5582	0.0084	21.7164	13.2006	0.550689	1423.688	865.4072
motor samping	65.5582	4.2606	16.0162	8.9316	279.3172	1049.993	585.5394
kamera	120	0	27.9925	10.5093	0	3359.1	1261.116
jumlah	382.233				279.8678	6106.735	3118.681

Maka didapat koordinat titik berat alat X, Y, Z adalah 0.73, 16.03, 8.16

Sehingga koordinat dari titik berat total adalah X, Y, Z adalah 0.24, 15.67, 6.78

Karena koordinat diatas diambil dari titik pusat pipa no.1 maka

VCG dari ROV = 8.05 cm

LCG dari ROV = 16.94 cm

### 3.3.2. Titik Buoyancy ROV

Tabel 6 Estimasi titik berat buoyancy desain awal

pipe number	Volume x $\rho$ (air laut)	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	$V_x \rho \times X$	$V_x \rho \times Y$	$V_x \rho \times Z$
1	27.9509	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	27.9509	0.0000	19.0900	8.9400	0.0000	533.5828	249.8811
3	27.9509	0.0000	25.4925	7.6200	0.0000	712.5384	212.9859

4	30.29632	6.1747	0.8185	0.0000	187.0707	24.7975	0.0000
4a	30.29632	-6.1747	0.8185	0.0000	-187.0707	24.7975	0.0000
5	49.71182	6.9700	6.3500	0.5292	346.4914	315.6700	26.3075
5a	49.71182	-6.9700	6.3500	0.5292	-346.4914	315.6700	26.3075
6	23.53169	6.9700	12.7200	0.0000	164.0159	299.3231	0.0000
6a	23.53169	-6.9700	12.7200	0.0000	-164.0159	299.3231	0.0000
7	49.71182	6.9700	19.0900	0.5292	346.4914	948.9986	26.3075
7a	49.71182	-6.9700	19.0900	0.5292	-346.4914	948.9986	26.3075
8	30.29632	6.9700	24.6115	0.8185	211.1653	745.6378	24.7975
8a	30.29632	-6.9700	24.6115	0.8185	-211.1653	745.6378	24.7975
9	4.676921	6.9700	25.4350	3.8100	32.5981	118.9575	17.8191
9a	4.676921	-6.9700	25.4350	3.8100	-32.5981	118.9575	17.8191
10	49.71182	6.4408	25.4300	7.6200	320.1839	1264.1715	378.8040
10a	49.71182	-6.4408	25.4300	7.6200	-320.1839	1264.1715	378.8040
11	4.676921	6.9700	25.4350	11.4300	32.5981	118.9575	53.4572
11a	4.676921	-6.9700	25.4350	11.4300	-32.5981	118.9575	53.4572
12	30.29632	6.9700	24.6215	14.4215	211.1653	745.9408	436.9183
12a	30.29632	-6.9700	24.6215	14.4215	-211.1653	745.9408	436.9183
13	46.91619	6.9700	15.8950	15.2400	327.0059	745.7329	715.0028
13a	46.91619	-6.9700	15.8950	15.2400	-327.0059	745.7329	715.0028
14	30.29632	6.9700	7.1685	14.4215	211.1653	217.1791	436.9183
14a	30.29632	-6.9700	7.1685	14.4215	-211.1653	217.1791	436.9183
15	32.73824	6.9700	6.3500	7.6200	228.1855	207.8878	249.4654
15a	32.73824	-6.9700	6.3500	7.6200	-228.1855	207.8878	249.4654
16	9.537903	6.9700	19.0900	4.4700	66.4792	182.0786	42.6344
16a	9.537903	-6.9700	19.0900	4.4700	-66.4792	182.0786	42.6344
17	30.29632	6.1515	19.0900	8.1215	186.3678	578.3567	246.0515
17a	30.29632	-6.1515	19.0900	8.1215	-186.3678	578.3567	246.0515
jumlah	929.2425				0.00000	14273.49	5771.83

Maka didapat koordinat titik buoyancy frame X, Y, Z adalah 0, 15.82,

6.39

Tabel 7 Estimasi Titik buoyancy alat desain awal

alat	V*ρ	X	Y	Z	V*ρ*X	V*ρ*Y	V*ρ*Z
motor kanan	33.7475	4.0783	2.0894	3.1012	137.6322	70.5119	104.6576
motor kiri	33.7475	-4.0783	2.0894	3.1012	-137.6322	70.5119	104.6576

motor atas	33.7475	0.0084	21.7164	13.2006	0.2835	732.8732	445.4867
motor samping	33.7475	4.2606	16.0162	8.9316	143.7844	540.5060	301.4188
kamera	56.8783	0.0000	27.9925	10.5093	0.0000	1592.1667	597.7514
jumlah	191.8682				144.0678	3006.569	1553.9720

Maka didapat koordinat titik buoyancy alat X, Y, Z adalah 0.77, 16.14, 8.34

Sehingga koordinat dari titik buoyancy total adalah X, Y, Z adalah 0.13, 15.87, 6.73

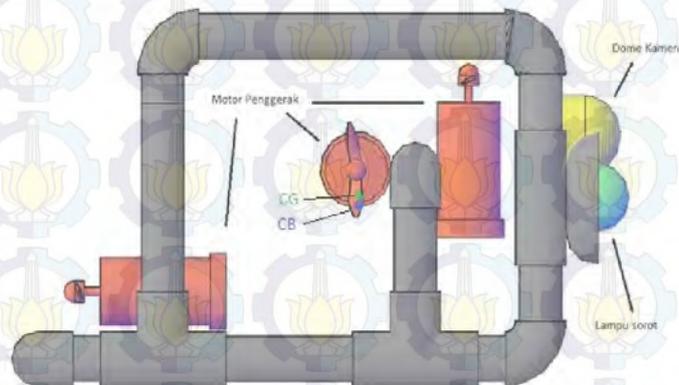
Karena koordinat diatas diambil dari titik pusat pipa no.1 maka

VCB dari ROV = 8 cm

LCB dari ROV = 17.14 cm

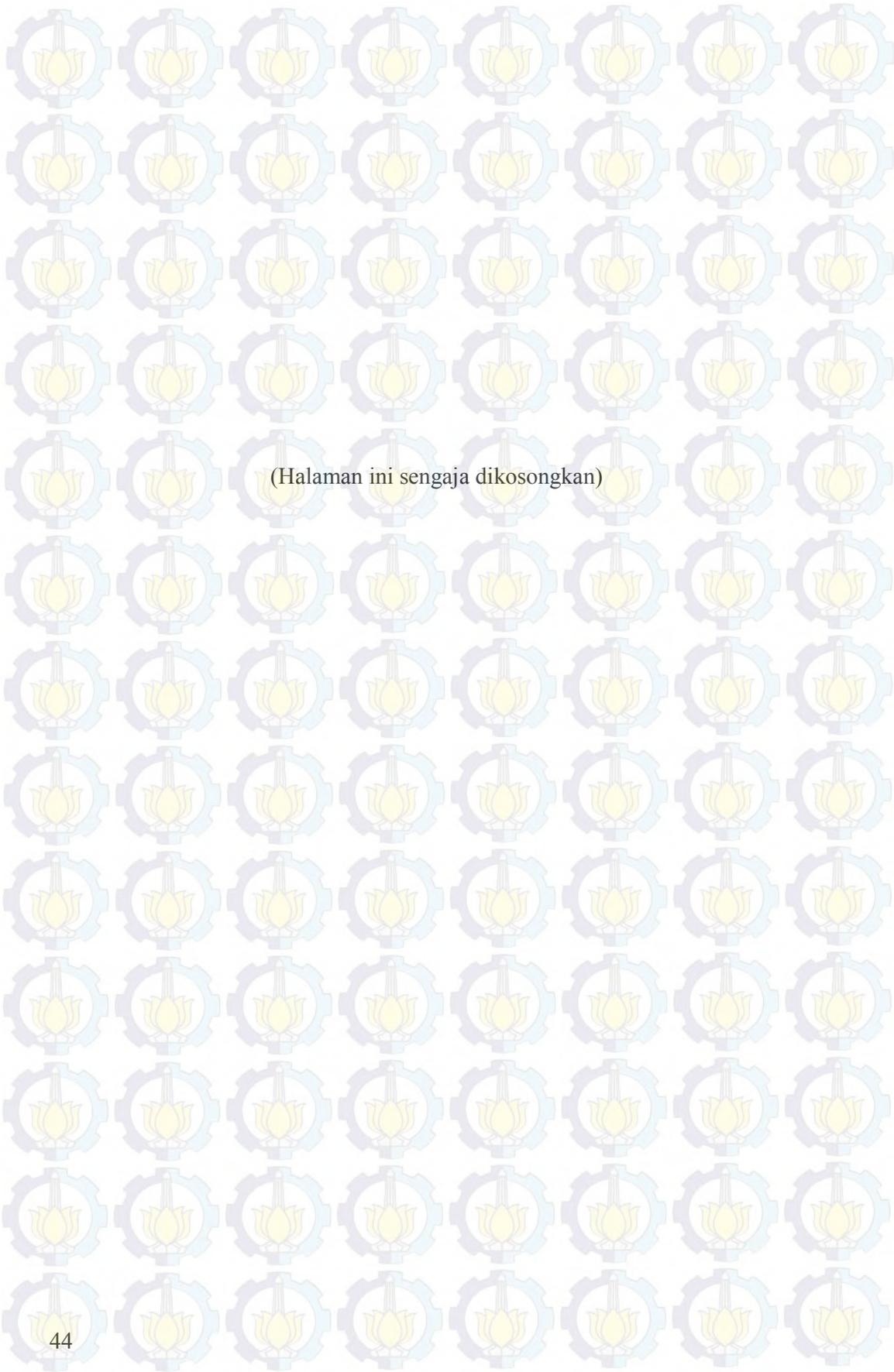
$XG = LCG - LCB = 0.22$  cm

$BG = VCG - VCB = 0.05$  cm



Gambar 13 Letak CG dan CB desain awal ROV

Dari BG dan XG diatas dapat disimpulkan bahwa ROV desain awal ini memiliki stabilitas yang kurang baik dikarenakan titik berat dan titik buoyancy terlalu berdekatan. Maka diperlukan desain ulang dengan cara merubah peletakan pipa yang merupakan pusat dari buoyancy dan peletakan motor yang merupakan pusat dari berat.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

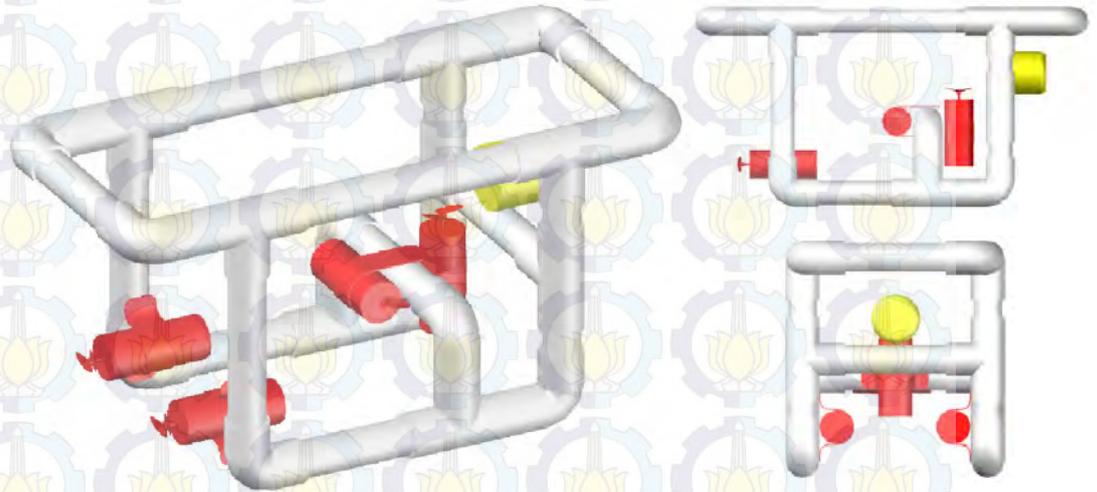
## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### IV.1. Desain ROV

##### 4.1.1. Desain Baru ROV

Desain baru ROV ini tidak jauh berbeda dengan desain awal sebelumnya. Perubahan yang terlihat hanyalah perbedaan peletakan pipa serta motor penggerak yang merupakan pusat dari berat serta buoyancy dari ROV. Tujuan utama mendesain baru adalah untuk mendapatkan titik berat dan titik buoyancy yang tidak terlalu dekat sehingga stabilitas bisa lebih baik. Desain baru ini memiliki panjang 34.4 cm, tinggi 17.78 cm dan lebar 16.48, serta memiliki berat total 1173 grams. Gambar desain baru ROV adalah sebagai berikut



Gambar 1 Desain baru ROV dengan memperhatikan letak buoyancy

##### 4.1.2. Titik Berat ROV

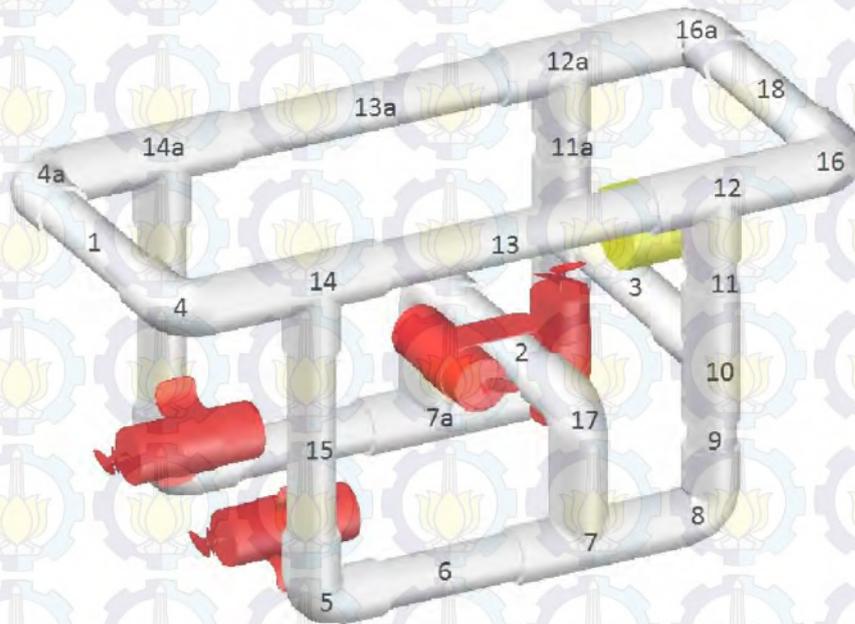
Titik berat sebuah benda disebut juga titik keseimbangan benda atau titik dimana benda akan seimbang tanpa ada kecenderungan untuk berputar. Titik berat sering diidentifikasi sebagai titik dimana seluruh berat benda

tersebut terpusat, titik dimana berat benda bekerja. Titik berat harus dihitung dengan akurat untuk mengetahui keseimbangan dari benda. Untuk mengetahui titik berat perlu menghitung gaya linier dan gaya rotasi yang bekerja harus seimbang.

Koordinat titik berat suatu benda dengan berat masing-masing  $W_1, W_2, \dots, W_i$ ; yang terletak pada koordinat  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_i, y_i)$  adalah:

$$X = (\sum W_i \cdot X_i) / (W_i)$$

$$Y = (\sum W_i \cdot Y_i) / (W_i)$$



Gambar 2 Penomoran pipa dan alat pada ROV

Titik berat pada frame pipa pvc dihitung perbagian sesuai dengan letak masing-masing koordinat. Dari origin koordinat adalah pusat pipa no.1 desain awal ROV, sehingga didapat koordinat pipa:

Tabel 1 Estimasi Titik berat frame desain baru

pipe number	Berat (gr)	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Berat * X	Berat * Y	Berat * Z
1	26.9724	0	0	15.24	0	0	411.0594
2	26.9724	0	19.09	6.34	0	514.9031	171.005
3	26.9724	0	25.4925	7.62	0	687.5939	205.5297

4	21.7724352	6.1747	0.8185	15.24	134.4383	17.82074	0
4a	21.7724352	-6.1747	0.8185	15.24	-134.438	17.82074	0
4.5	8.9908	6.97	7.1685	0.8185	62.66588	28.59074	0
4.5a	8.9908	-6.97	7.1685	0.8185	-62.6659	28.59074	0
5	21.7724352	6.97	12.72	0	151.7539	156.0757	17.82074
5a	21.7724352	-6.97	12.72	0	-151.754	156.0757	17.82074
6	24.1332	6.97	19.09	0.5292	168.2084	306.9743	0
6a	24.1332	-6.97	19.09	0.5292	-168.208	306.9743	0
7	30.3906908	6.97	24.6115	0.8185	211.8231	580.1583	16.08275
7a	30.3906908	-6.97	24.6115	0.8185	-211.823	580.1583	16.08275
7.8	8.9908	6.97	25.435	3.81	62.66588	200.1352	0
7.8a	8.9908	-6.97	25.435	3.81	-62.6659	200.1352	0
8	21.7724352	6.4408	25.43	7.62	151.7539	535.8523	17.82074
8a	21.7724352	-6.4408	25.43	7.62	-151.754	535.8523	17.82074
9	12.01928	6.97	25.435	11.43	83.77438	305.7104	45.79346
9a	12.01928	-6.97	25.435	11.43	-83.7744	305.7104	45.79346
10	30.3906908	6.97	25.44	14.7108	195.7404	772.8353	231.5771
10a	30.3906908	-6.97	25.44	14.711	-195.74	772.8353	231.5771
11	12.01928	6.97	15.895	15.24	83.77438	305.7104	137.3804
11a	12.01928	-6.97	15.895	15.24	-83.7744	305.7104	137.3804
12	30.3906908	6.97	6.35	14.711	211.8231	773.1392	447.0714
12a	30.3906908	-6.97	6.35	14.711	-211.823	773.1392	447.0775
13	39.1573	6.97	6.35	7.62	272.9264	622.4053	596.7573
13a	39.1573	-6.97	6.35	7.62	-272.926	622.4053	596.7573
14	21.7724352	6.1747	30.9715	15.24	151.7539	138.255	320.2943
14a	21.7724352	-6.1747	30.9715	15.24	-151.754	138.255	320.2943
15	30.0482	6.1515	19.09	5.5215	209.436	190.8061	228.9673
15a	30.0482	-6.1515	19.09	5.5215	-209.436	190.8061	228.9673
16	21.7724352	0	31.79	15.24	134.4383	674.325	331.8119
16a	21.7724352	0	0	15.24	-134.438	674.325	331.8119
17	21.7724352	0	19.09	6.34	133.9331	415.6358	120.2165
17a	21.7724352	0	25.4925	7.62	-133.933	415.6358	120.2165
18	26.9724	6.1747	0.8185	15.24	0	857.4526	411.0594

Jumlah	795.248287				0	14108.81	6221.847
--------	------------	--	--	--	---	----------	----------

Maka didapat koordinat titik berat frame X, Y, Z adalah 0, 17.74, 7.8

Tabel 2 Estimasi titik berat alat desain baru

alat	Berat (gr)	X	Y	Z	w*X	w*Y	w*Z
motor kanan	65.5582	4.0783	2.0894	3.1012	267.3659	136.9772	203.309
motor kiri	65.5582	-4.0783	2.0894	3.1012	-267.366	136.9772	203.309
motor atas	65.5582	0.0084	21.7164	13.2006	0.550689	1423.688	865.4072
motor samping	65.5582	4.2606	16.0162	8.9316	279.3172	1049.993	585.5394
kamera	120	0	27.9925	10.5093	0	3359.1	1261.116
jumlah	382.233				279.8678	6106.735	3118.681

Maka didapat koordinat titik berat alat X, Y, Z adalah 0.05, 17.59, 6.19

Sehingga koordinat dari titik berat total X, Y, Z adalah 0.01, 17.69, 7.29

Karena koordinat diatas diambil dari titik pusat pipa no.1 desain awal

ROV maka

VCG dari ROV = 0.5 lebar pipa no.1 + titik Z = 8.56 cm

LCG dari ROV = 0.5 lebar pipa no.1 + titik Y = 18.96 cm

ROV desain baru ini memiliki titik VCG adalah 8.56 cm dan estimasi LCG adalah 18.96 cm. Panjang total ROV ialah 34.4 cm, dengan tinggi total 17.78 cm, dan lebar total 16.48 cm.

#### 4.1.2. Titik Buoyancy ROV

Tabel 3 Estimasi Titik Buoyancy frame desain baru

pipe number	Volume x $\rho$ (air laut)	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	$V_x \rho \times X$	$V_x \rho \times Y$	$V_x \rho \times Z$
-------------	----------------------------	--------	--------	--------	---------------------	---------------------	---------------------

1	27.9509	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	27.9509	0.0000	19.0900	8.9400	0.0000	533.5828	249.8811
3	27.9509	0.0000	25.4925	7.6200	0.0000	712.5384	212.9859
4	30.29632	6.1747	0.8185	0.0000	187.0707	24.7975	0.0000
4a	30.29632	-6.1747	0.8185	0.0000	-187.0707	24.7975	0.0000
5	49.71182	6.9700	6.3500	0.5292	346.4914	315.6700	26.3075
5a	49.71182	-6.9700	6.3500	0.5292	-346.4914	315.6700	26.3075
6	23.53169	6.9700	12.7200	0.0000	164.0159	299.3231	0.0000
6a	23.53169	-6.9700	12.7200	0.0000	-164.0159	299.3231	0.0000
7	49.71182	6.9700	19.0900	0.5292	346.4914	948.9986	26.3075
7a	49.71182	-6.9700	19.0900	0.5292	-346.4914	948.9986	26.3075
8	30.29632	6.9700	24.6115	0.8185	211.1653	745.6378	24.7975
8a	30.29632	-6.9700	24.6115	0.8185	-211.1653	745.6378	24.7975
9	4.676921	6.9700	25.4350	3.8100	32.5981	118.9575	17.8191
9a	4.676921	-6.9700	25.4350	3.8100	-32.5981	118.9575	17.8191
10	49.71182	6.4408	25.4300	7.6200	320.1839	1264.1715	378.8040
10a	49.71182	-6.4408	25.4300	7.6200	-320.1839	1264.1715	378.8040
11	4.676921	6.9700	25.4350	11.4300	32.5981	118.9575	53.4572
11a	4.676921	-6.9700	25.4350	11.4300	-32.5981	118.9575	53.4572
12	30.29632	6.9700	24.6215	14.4215	211.1653	745.9408	436.9183
12a	30.29632	-6.9700	24.6215	14.4215	-211.1653	745.9408	436.9183
13	46.91619	6.9700	15.8950	15.2400	327.0059	745.7329	715.0028
13a	46.91619	-6.9700	15.8950	15.2400	-327.0059	745.7329	715.0028
14	30.29632	6.9700	7.1685	14.4215	211.1653	217.1791	436.9183
14a	30.29632	-6.9700	7.1685	14.4215	-211.1653	217.1791	436.9183
15	32.73824	6.9700	6.3500	7.6200	228.1855	207.8878	249.4654
15a	32.73824	-6.9700	6.3500	7.6200	-228.1855	207.8878	249.4654
16	9.537903	6.9700	19.0900	4.4700	66.4792	182.0786	42.6344
16a	9.537903	-6.9700	19.0900	4.4700	-66.4792	182.0786	42.6344
17	30.29632	6.1515	19.0900	8.1215	186.3678	578.3567	246.0515
17a	30.29632	-6.1515	19.0900	8.1215	-186.3678	578.3567	246.0515
Jumlah	1009.59				0.00000	17850	8903.726

Maka didapat koordinat titik buoyancy frame X, Y, Z adalah 0, 17.72,

8.83

Tabel 4 Estimasi Titik buoyancy alat desain baru

alat	V*ρ	X	Y	Z	V*ρ*X	V*ρ*Y	V*ρ*Z
motor kanan	33.7475	4.431	6.3937	2.54	149.5349758	215.7711069	85.71853722
motor kiri	33.7475	-4.431	6.3937	2.54	-149.534975	215.7711069	85.71853722
motor atas	33.7475	0	21.7904	5.3513	0	735.3705565	180.5927592
motor samping	33.7475	0.3069	16.4476	6.35	10.35709412	555.0646507	214.2963431
kamera	56.8783	0	27.9925	10.5093	0	1592.166655	597.7514343
Jumlah	191.868				10.3570	3314.14407	1164.077

Maka didapat koordinat titik buoyancy alat X, Y, Z adalah 0.05, 17.79,

6.24

Sehingga koordinat dari titik buoyancy total adalah X, Y, Z adalah 0.008, 17.73, 8.43

Karena koordinat diatas diambil dari titik pusat pipa no.1 maka

$$VCB \text{ dari ROV} = 0.5 \text{ lebar pipa no.1} + \text{titik Z} = 9.7 \text{ cm}$$

$$LCB \text{ dari ROV} = 0.5 \text{ lebar pipa no.1} + \text{titik Z} = 19 \text{ cm}$$

ROV desain baru ini memiliki konfigurasi, estimasi VCB adalah 9.7 cm dan estimasi LCB adalah 19 cm. Panjang total ROV ialah 34.4 cm, dengan tinggi total 17.78 cm, dan lebar total 16.48 cm. Sehingga didapat jarak antara VCG dengan VCB (BG) adalah 0.04 cm dan jarak antara LCG dengan LCB (BG) adalah 1.14 cm.

$$XG = LCG - LCB = 0.04 \text{ cm}$$

$$BG = VCG - VCB = 1.14 \text{ cm}$$

Dari perhitungan diatas didapat XG atau jarak antara titik LCG dengan LCB yaitu sebesar 0.4 mm. Selanjutnya didapat juga BG atau jarak antara titik VCG dengan VCB yaitu sebesar 1.14 cm. dari sini bisa disimpulkan

kalau stabilitas yang dimiliki desain baru lebih baik dari pada desain lama. Maka langkah selanjutnya dihitung hambatan dari desain ROV yang baru.

#### IV.2 Estimasi Hambatan Pada ROV

Dalam mendesain kecepatan, menggunakan hukum Newton ketiga, yaitu pada saat benda kondisi equilibrium maka gaya dorong = gaya hambat. Kebutuhan gaya dorong pada kecepatan tertentu, dengan dimensi ROV yang ada dapat diestimasi dengan persamaan:

$$D_{ROV} = \frac{1}{2} \rho A V^2 C_D$$

V = kecepatan (m/s)

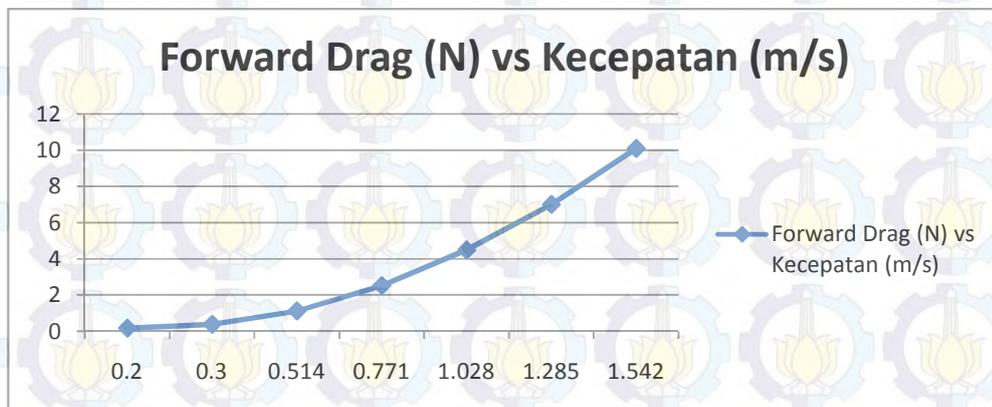
A = Frontal Area (m<sup>2</sup>)

C<sub>D</sub> = koefisien drag ROV

ρ = kepadatan air laut 1025 kg/m<sup>3</sup>

D<sub>ROV</sub> = Hambatan ROV

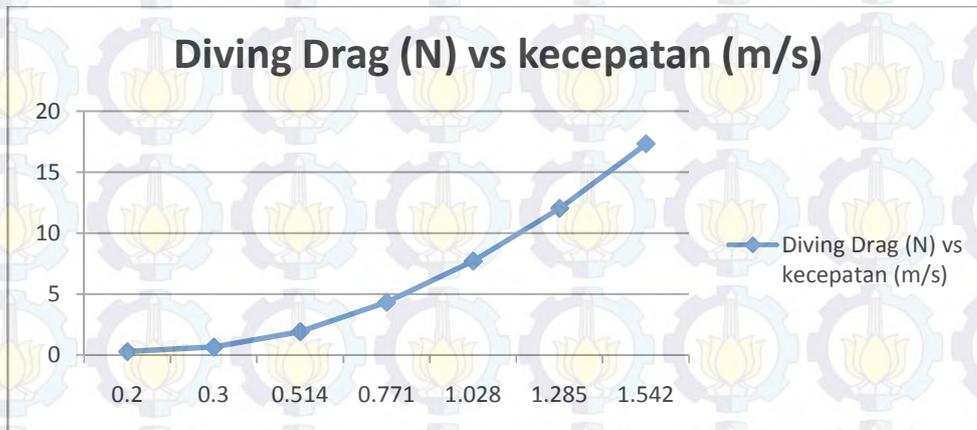
Estimasi koefisien drag untuk setengah lingkaran 0.42, untuk silinder 0.82 dan untuk bentuk persegi adalah 1.05. Perhitungan estimasi hambatan ROV dilakukan dengan cara menghitung hambatan perbagian kemudian hambatan yang diperoleh dijumlah sehingga didapat hambatan total pada saat ROV bergerak.



Gambar 3 Estimasi Hambatan ROV saat bergerak maju

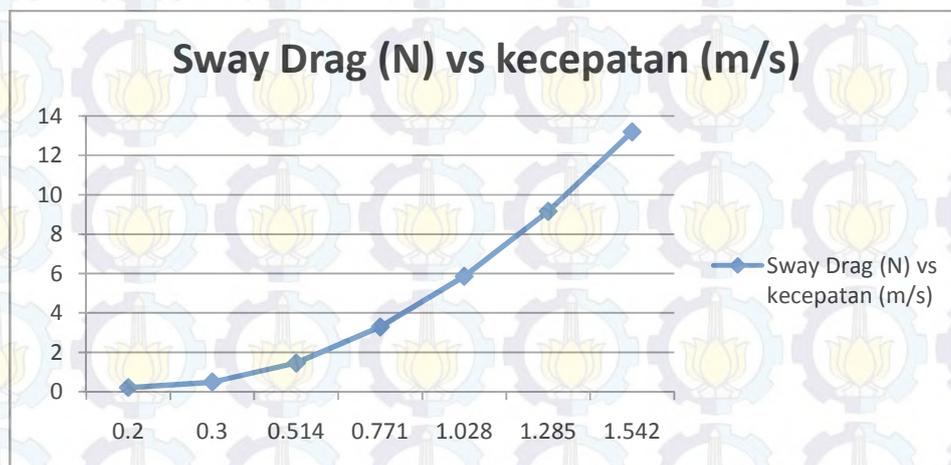
Estimasi hambatan ROV pada gambar 4.2 didapat dari perhitungan frontal area ROV dalam keadaan maju dengan kondisi kecepatan 0.2 m/s sampai 1.542 m/s. ROV ini direncanakan cukup untuk bisa melaju dengan

kecepatan 2 knots atau 1.028 m/s. Sistem pendorong ROV untuk melaju ada dua sehingga gaya dorong yang diperlukan untuk 1 propulsi adalah 2.24 N.



Gambar 4 Estimasi Hambatan ROV saat bergerak menyelam

Estimasi hambatan ROV pada gambar 4.3 didapat dari perhitungan frontal area ROV dalam keadaan menyelam dengan kondisi kecepatan 0.2 m/s sampai 1.542 m/s. ROV ini direncanakan cukup untuk bisa menyelam dengan kecepatan 0.3 m/s. Sistem pendorong ROV untuk menyelam ada satu sehingga gaya dorong yang diperlukan untuk 1 propulsi adalah 0.6 N.



Gambar 5 Estimasi Hambatan ROV saat bergerak menyamping

Estimasi hambatan ROV pada gambar 4.4 didapat dari perhitungan frontal area ROV saat bergerak menyamping (sway) dengan kondisi

kecepatan 0.2 m/s sampai 1.542 m/s. ROV ini direncanakan cukup untuk bisa bergerak menyamping dengan kecepatan 0.2 m/s. Sistem pendorong ROV untuk sway ada satu sehingga gaya dorong yang diperlukan untuk 1 propulsi adalah 0.2 N.

### IV.3 Estimasi Power Propulsi ROV

Secara umum kapal yang bergerak di media air dengan kecepatan tertentu, maka akan mengalami gaya hambat (resistance) yang berlawanan dengan arah gerak kapal tersebut. Besarnya gaya hambat yang terjadi harus mampu diatasi oleh gaya dorong kapal (thrust) yang dihasilkan dari kerja alat gerak kapal (propulsor). Daya yang disalurkan (PD) ke alat gerak kapal adalah berasal dari Daya Poros (PS), sedangkan Daya Poros sendiri bersumber dari Daya Rem (PB) yang merupakan daya luaran motor penggerak kapal.

Daya Efektif (PE) adalah besarnya daya yang dibutuhkan untuk mengatasi gaya hambat dari badan kapal (hull), agar kapal dapat bergerak dari satu tempat ke tempat yang lain dengan kecepatan servis sebesar  $V_S$ . Daya Efektif ini merupakan fungsi dari besarnya gaya hambat total dan kecepatan kapal. Untuk mendapatkan besarnya Daya Efektif kapal, dapat digunakan persamaan sebagai berikut ;

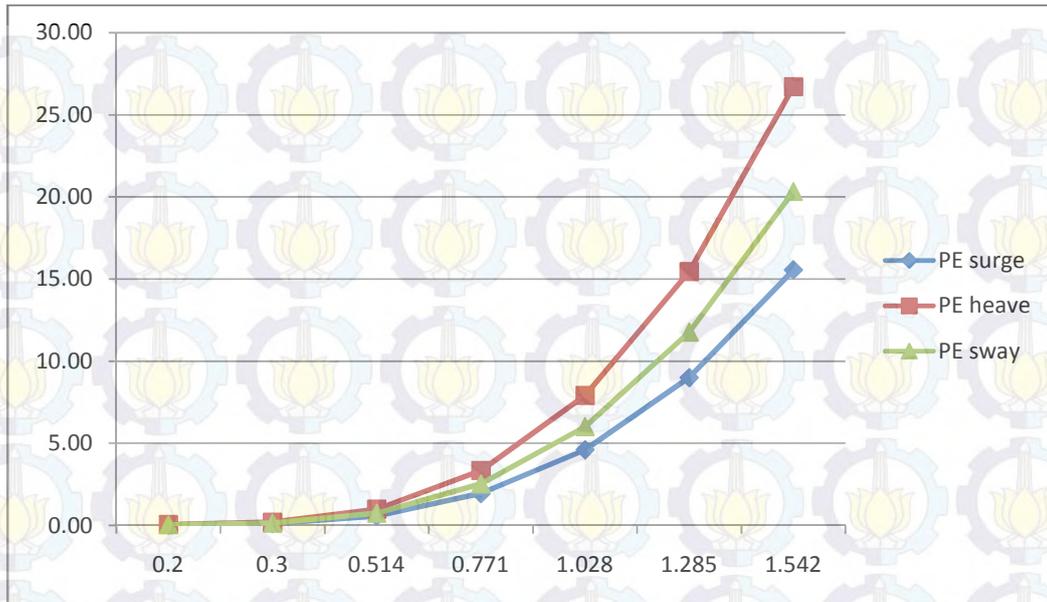
$$P_E = R_T * V_S$$

, dimana :

$P_E$  = Daya Efektif, dlm. satuan kWatt

$R_T$  = Gaya Hambat Total, dlm. satuan kN

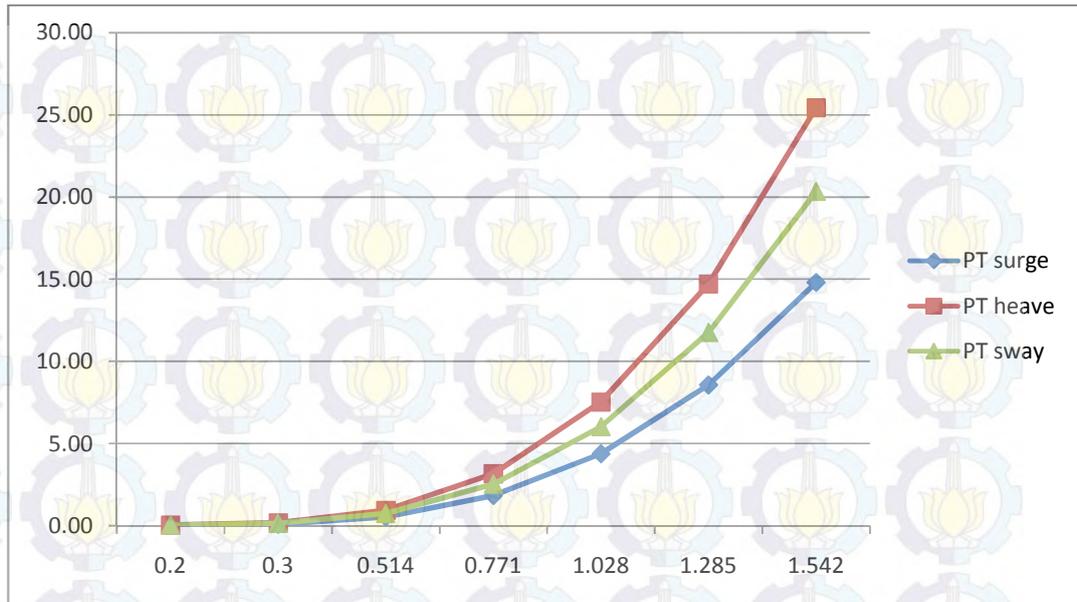
$V_S$  = Kecepatan Servis kapal [ {Kec. dlm Knots} \* 0.5144 = {Kec. dlm m/s} ]



Gambar 6 Estimasi Daya Efektif ROV dengan kecepatan (m/s)

Dari hambatan total dikali dengan kecepatan didapat estimasi daya efektif ROV pada saat gerakan maju (surge), gerakan menyelam (heave), gerakan menyamping (sway) seperti tampak pada gambar 4.5. ROV direncanakan untuk memiliki kecepatan maju 2 knots atau 1.028 m/s sehingga daya efektif ROV yang dibutuhkan sejumlah 4.6 watts. Untuk kondisi ROV bergerak menyelam direncanakan hanya butuh kecepatan 0.3 m/s sehingga daya efektif ROV yang dibutuhkan sejumlah 0.19 watts. Dan kecepatan ROV untuk bergerak menyamping adalah 0.2 m/s sehingga daya efektif ROV yang dibutuhkan sejumlah 0.04 watts.

Efisiensi Lambung,  $\eta_{HULL}$ , adalah rasio antara daya efektif (PE) dan daya dorong (PT). Efisiensi Lambung ini merupakan suatu bentuk ukuran kesesuaian rancangan lambung (stern) terhadap propulsor arrangement-nya, sehingga efisiensi ini bukanlah bentuk power conversion yang sebenarnya. Maka nilai Efisiensi Lambung inipun dapat lebih dari satu, pada umumnya diambil angka sekitar 1,05.



Gambar 7 Estimasi Daya Dorong ROV dengan kecepatan (m/s)

ROV direncanakan untuk memiliki kecepatan maju 2 knots atau 1.028 m/s sehingga daya dorong ROV yang dibutuhkan sejumlah 4.38 watts. Untuk kondisi ROV bergerak menyelam direncanakan hanya butuh kecepatan 0.3 m/s sehingga daya efektif ROV yang dibutuhkan sejumlah 0.18 watts. Dan kecepatan ROV untuk bergerak menyamping adalah 0.2 m/s sehingga daya efektif ROV yang dibutuhkan sejumlah 0.04 watts.

Daya motor penggerak kapal (PB) yang dimaksud adalah Daya Rem (Brake Power) atau daya yang diterima oleh poros transmisi sistem penggerak kapal, yang selanjutnya dioperasikan secara kontinyu untuk menggerakkan kapal pada kecepatan servisnya ( $V_S$ ). Jika besarnya efisiensi mekanis pada susunan gearbox, yang berfungsi untuk me-reduce dan me-reverse putaran motor penggerak, adalah 98 persen. Maka daya motor penggerak kapal dapat dihitung, seperti persamaan dibawah ini;

$$P_{B-CSR} = P_S / 0.98$$

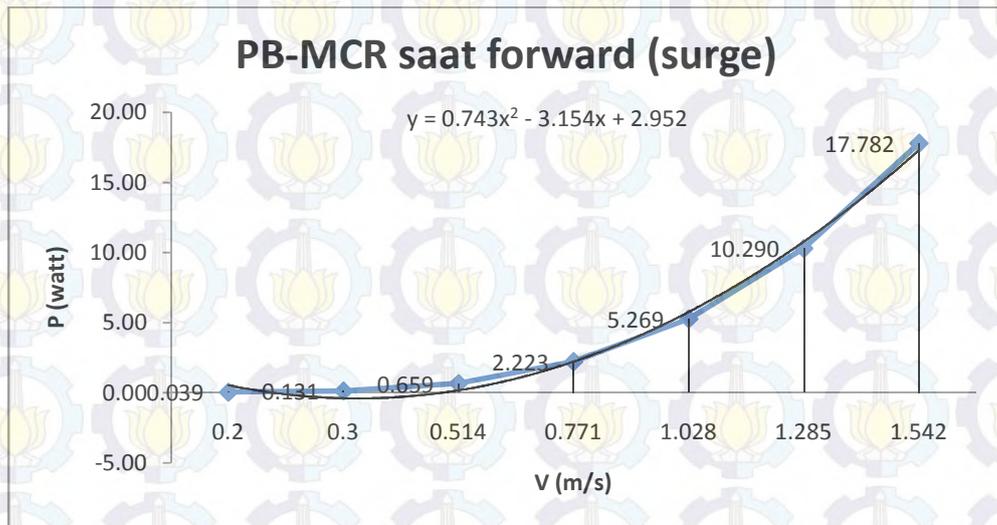
Yang mana  $P_{B-CSR}$  adalah daya output dari motor penggerak pada kondisi Continues Service Rating(CSR), yaitu daya motor pada kondisi 80 - 85% dari Maximum Continues Rating (MCR)-nya. Arti phisiknya, daya yang dibutuhkan oleh kapal agar mampu beroperasi dengan kecepatan servis  $V_S$  adalah cukup

diatasi oleh 80 - 85% daya motor (engine rated power) dan pada kisaran 100% putaran motor (engine rated speed).

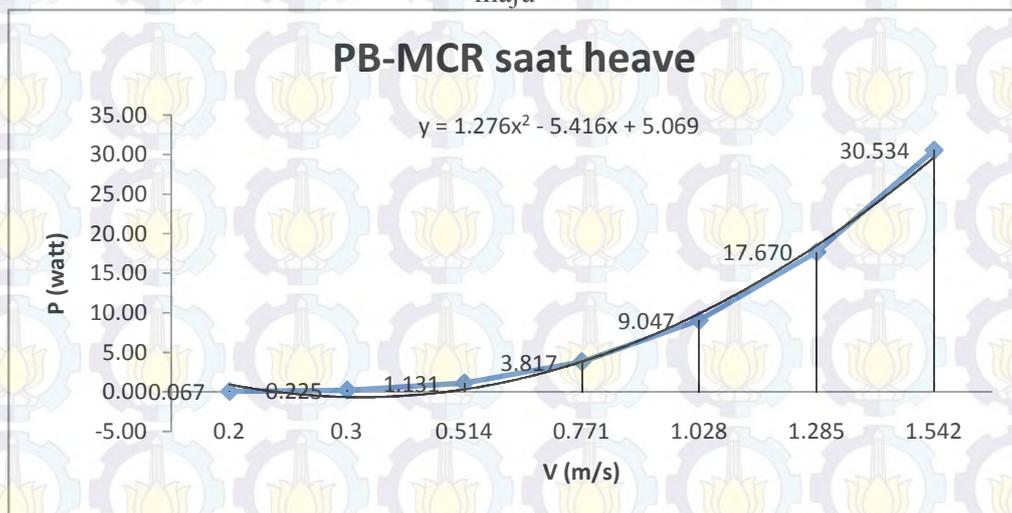
Sehingga untuk menentukan besarnya daya motor yang harus di-instal di kapal, adalah seperti yang ditunjukkan oleh persamaan sebagai berikut

$$P_{B-MCR} = P_{B-CSR} / 0.85$$

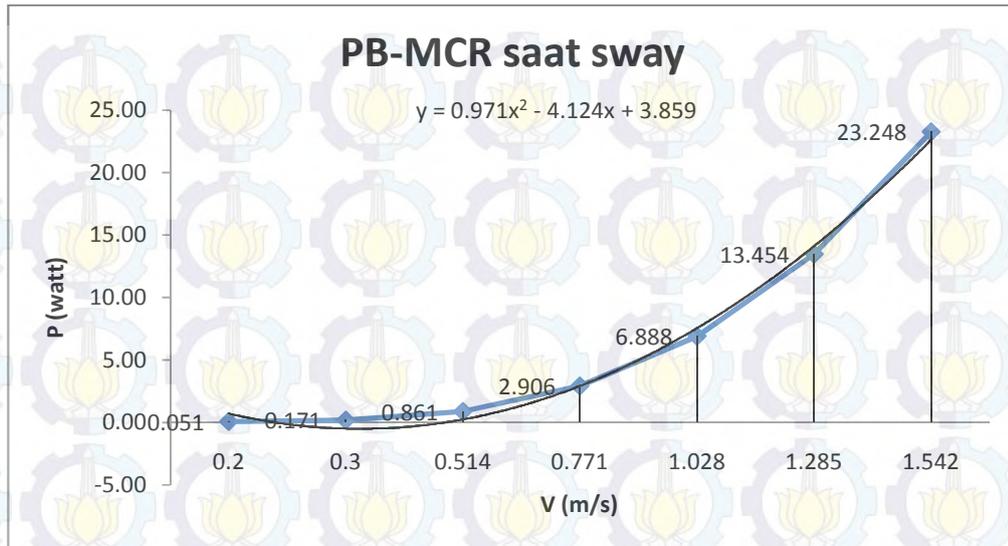
Daya pada PB-MCR inilah yang selanjutnya dibandingkan dengan spesifikasi motor penggerak ROV yang telah dipilih.



Gambar 8 Estimasi Daya Motor ROV dengan kecepatan (m/s) pada saat gerakan maju



Gambar 9 Estimasi Daya Motor ROV dengan kecepatan (m/s) pada saat gerakan menyelam



Gambar 10 Estimasi Daya Motor ROV dengan kecepatan (m/s) pada saat gerakan menyamping

ROV direncanakan untuk memiliki kecepatan maju 2 knots atau 1.028 m/s sehingga daya motor ROV yang dibutuhkan sejumlah 5.269 watts. Untuk kondisi ROV bergerak menyelam direncanakan hanya butuh kecepatan 0.3 m/s sehingga daya efektif ROV yang dibutuhkan sejumlah 0.225 watts. Dan kecepatan ROV untuk bergerak menyamping adalah 0.2 m/s sehingga daya efektif ROV yang dibutuhkan sejumlah 0.05 watts. Khusus pada kondisi bergerak maju terdapat dua motor pendorong sehingga masing-masing motor dibutuhkan daya sebesar setengah dari 5.269 watts yaitu 2.6345 watts.

Motor yang direncanakan memiliki output efficiency sebesar 2.7 W dan maksimal daya motor sampai terjadi stall adalah 58.8 W. Jadi kebutuhan daya yang diperlukan untuk melaju dengan kecepatan 2 knots atau 1.028 m/s hampir mendekati daya efisiensi motor sehingga motor tidak akan cepat aus atau rusak.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## BAB V PENUTUP

### V.1 Kesimpulan

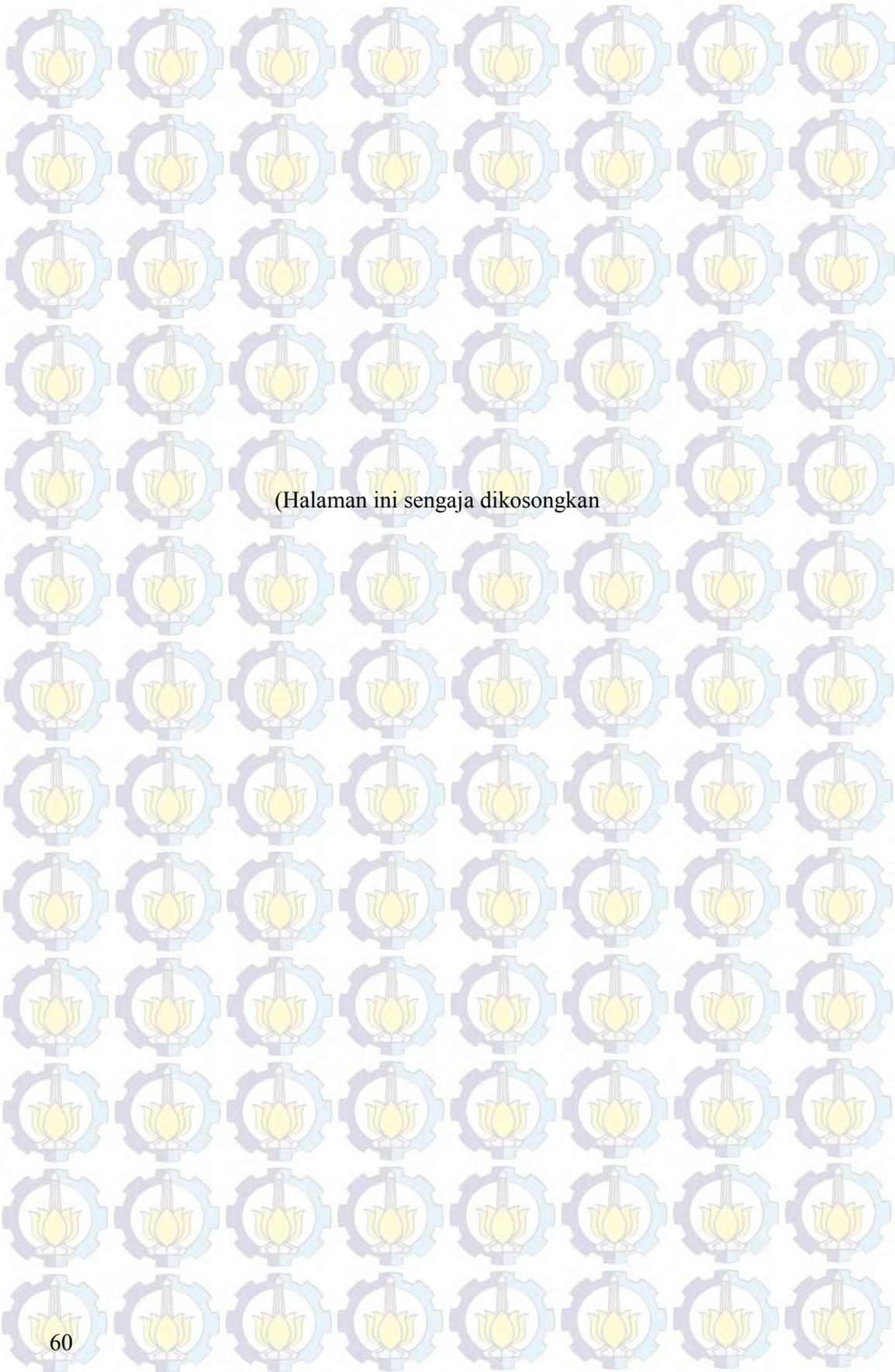
Dari hasil penelitian yang telah dilakukan pada pengerjaan tugas akhir ini, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Dalam pembuatan *ROV* sebaiknya peletakan motor dan alat bantu visual sangat diperhatikan karena berpengaruh terhadap titik LCG dan LCB.
2. Dalam pembuatan *ROV* sebaiknya menggunakan motor yang memiliki RPM rendah karena memiliki kekuatan torsi lebih tinggi
3. Jumlah *Thruster* pada *ROV* berbeda-beda, penentuan jumlah *thruster* pada *ROV* disesuaikan dengan fungsi *ROV*, untuk observasi, survey, inspeksi atau yang lain.
4. Penggunaan frame dengan bahan pipa ternyata cukup baik bila dilihat dari kemampuan bouyancy yang cukup dan hambatan yang dihasilkan kecil.
5. Pemilihan bentuk *frame* antara terbuka dan tertutup berpengaruh terhadap fungsi dari *ROV*, apakah lebih mengutamakan kecepatan atau *maneuverability*.

### V.2 Saran

Untuk kelanjutan riset yang akan datang, ada beberapa saran yang diberikan penulis :

1. Penerapan metode olah data sensor yang lebih baik agar mendapatkan hasil pembacaan jarak yang baik.
2. Memperhatikan ukuran *ROV* yang lebih besar agar mampu membawa alat sensor yang lebih banyak sehingga fungsi *ROV* jadi lebih baik.
3. Pemilihan motor lebih diutamakan RPM yang kecil karena biasanya memiliki torsi yang lebih besar sehingga daya dorong lebih besar.
4. Perhitungan yang lebih detail terhadap gerakan hidrostatis 6 derajat kebebasan sehingga estimasi desain akan lebih mendekati kenyataan.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Adji Surjo W, “*Engine Propeller Matching*”, FT Kelautan, ITS, Surabaya 2005.
- [2]. Tang, Sia Chuan, “*Modeling and Simulation of the Autonomous Underwater Vehicle, Autolytus*”, Department of Ocean Engineering, MIT, February 1999.
- [3]. Christ, Robert D., and Robert L. Wernli, “*The ROV Manual: A User Guide for Observation-Class Remotely Operated Vehicles*” Elsevier, Burlington, 2007.
- [4]. [www.seaperch.org](http://www.seaperch.org), *Build Your Own Underwater Robot and Other Wet Projects*, January 2012
- [5]. Granville, Paul, S., “*Elements of Drag of Underwater Bodies*” Naval Ship Research and Development Center, Bethesda, June 1976.
- [6]. Smiadak, David, M., “*Drag Coefficient of a Sphere*” School of Engineering Grand Valley State University, EGR 365-Fluid Mechanics, July 8, 2008.
- [7]. Gerr, Dave “*The Complete Reference for Choosing, Installing and Understanding Boat Propeller*” Propeller Handbook, International Marine, 1989.
- [8]. “Ask Us - Drag of Cylinders & Cones”, Aerospaceweb.org, June 2005.

## BIODATA PENULIS



Andi Hakim, itulah nama lengkap penulis. Penulis dilahirkan di Sidoarjo, 9 Mei 1987 silam. Penulis merupakan anak kedua dari pasangan Nadjib dan Zaidatin. Penulis menempuh pendidikan formal di TK, SD, SMP, dan SMA Taruna Dra Zulaeha Leces Probolinggo. Setelah lulus SMA pada tahun 2005, penulis melanjutkan sekolah tahapan sarjana di Institut Teknologi

Sepuluh Nopember Surabaya Jurusan Teknik Perkapalan melalui jalur SPMB.

Pada tahapan S-1 di Teknik Perkapalan ITS, penulis mengambil bidang studi Rekayasa Perkapalan bidang keahlian Perancangan Kapal. Selama masa kuliah jenjang S-1, penulis pernah menjadi Staff HIMATEKPAL 2007/2008, anggota Dakwah Jurusan As-Safiinah serta magang di perusahaan PT PAL, PT PELNI, dan PT SAMPOERNA.

Penulis juga menguasai beberapa software sebagai penunjang ilmu perkapalan meliputi AutoCAD, Maxsurf (Design of Hull), ANSYS APDL (Multiphysics).

Email : [andihakim45@gmail.com](mailto:andihakim45@gmail.com)