TUGAS AKHIR – (ME184834)

PERANCANGAN SISTEM PENGGERAK AUV MENGGUNAKAN METODE CFD

Abdul Sayyid Azzindani
NRP 04211746000006

Dosen Pembimbing
Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD.,M.MT
Achmad Baidowi, S.T., M.T

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

TUGAS AKHIR – (ME184834)

PERANCANGAN SISTEM PENGGERAK AUV MENGGUNAKAN METODE CFD

Abdul Sayyid Azzindani
NRP 04211746000006

Dosen Pembimbing
Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD.,M.MT
Achmad Baidowi, S.T., M.T

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

BACHELOR THESIS – (ME184834)

AUV DRIVE SYSTEM DESIGN USING CFD METHOD

Abdul Sayyid Azzindani
NRP 04211746000006

Supervisor
Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD.,M.MT
Achmad Baidowi, S.T., M.T

DEPARTEMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

LEMBAR PENGESAHAN
PERANCANGAN SISTEM PENGGERAK AUV MENGGUNAKAN METODE CFD

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjan Teknik
Pada
Bidang Studi *Marine Manufacturing and Design* (MMD)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
ABDUL SAYYID AZZINDANI
NRP. 04211746000006

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., M.MT ( )
   NIP. 195904101987011001
2. Achmad Baidowi, S.T., M.T ( )
   NIP. -

SURABAYA,JANUARI 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN SISTEM PENGGERAK AUV MENGGUNAKAN METODE CFD

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjan Teknik

Pada

Bidang Studi *Marine Manufacturing and Design* (MMD)

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ABDUL SAYYID AZZINDANI

NRP. 04211746000006

Disetujui Oleh Kepala Departemen

Teknik Sistem Perkapalan

Beny Cahyono, S.T.,M.T.,Ph.D

NIP. 197903192008011008

SURABAYA,JANUARI 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRAK

Autonomous Underwater Vehicle (AUV) adalah wahana tanpa awak bawah laut .AUV juga dikenal juga sebagai robot kabel tanpa awak yang dilengkapi dengan sensor dengan tujuan tertentu. Dalam aplikasinya AUV memberikan kontribusi berupa membantu manusia dalam upaya pemberdayaan dan eksplorasi perairan di Indonesia, pemeriksaan pipa bawah laut dalam industri minyak dan gas, pemetaan daerah bawah laut, hingga keperluan militer. Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk mengetahui tahanan dari 3 variable desain yang telah dibuat saat beroperasi pada kecepatan 10 m/s menggunakan software berbasis CFD. Dan yang kedua adalah untuk mendapatkan nilai *thrust* (gaya dorong) dari AUV sehingga dapat digunakan untuk mendapatkan penggerak utama dari AUV.

Pada hasil simulasi aliran menggunakan software CFD didapatkan FD (*Drag Force*) atau bisa juga disebut tahanan dari setiap variable desain. Tahanan pada variable ke 1 adalah 6.991 N , variable ke 2 adalah 7.024 N, dan variable desain yang ke 3 adalah 7.882 N.

Setelah didapatkan tahanan maka akan dilakukan perhitungan thrust dari 3 variable desain. Thrust variable ke 1 adalah 192.22 lbf, variable ke 2 adalah 193.16 lbf dan variable ke 3 adalah 216.75 lbf. dari thrust tersebut akan di cari nilai terekecil dari setiap variable desain.

Setelah diketahui berapa besar thrust yang dibutuhkan AUV bergerak pada kecepatan operasionalnya maka dipilih penggerak utama. Penggerak utama yang dipilih memiliki spesification *thrust* 250 lbf dengan *input voltage* 48 Vdc

Kata kunci : AUV, Tahanan, *Thrust,* Penggerak utama

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRACT

Autonomous Underwater Vehicle (AUV) is an underwater unmanned vehicle. AUV is also known as an unmanned cable robot equipped with sensors with a specific purpose. In its application, AUV contributes in the form of helping people in efforts to empower and explore waters in Indonesia, inspection of underwater pipelines in the oil and gas industry, mapping of underwater areas, to military needs. The purpose of this final project is to determine the resistance of 3 design variables that have been created while operating at a speed of 10 m / s using CFD based software. And the second is to get the thrust value (thrust) of AUV so that it can be used to get the prime mover of AUV.

In flow simulation results using CFD software, it is obtained FD (Drag Force) or it can also be called resistance from each design variable. Resistance to variable 1 is 6,991 N, variable 2 is 7,024 N, and design variable 3 is 7,882 N. After the prisoner is obtained, the thrust calculation will be done from 3 design variables. The first variable thrust is 192.22 lbf, the second variable is 193.16 lbf and the third variable is 216.75 lbf. of the thrust will find the smallest value of each design variable.

After knowing how much thrust is needed AUV moves at operational speed, the prime mover is chosen. The prime mover chosen is has spesification 250 lbf thrust with 48 Vdc input voltage

Keywords: AUV, Resistance, Thrust, Prime Movers

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur alhamdulillah penulis ucapkan atas kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan seluruh rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyusun dan menyelesaikan Skripsi dengan judul “Perencangan Sistem Penggerak AUV Menggunakan Metode CFD” dengan baik.

Tugas akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana (S1) di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam proses penyusunan dan pengerjaan Skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan moral yang sangat berarti dari berbagai pihak. Sebagai bentuk rasa syukur, penulis mengucapkan terima kasih khususnya kepada:

1. Bapak Umar dan Ibu Sutatik, serta semua anggota keluarga yang telah memberikan doa, motivasi serta semangat untuk menyelesaikan Skripsi ini.
2. Bapak Beny Cahyono S.T.,M.T.,Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan ITS Surabaya.
3. Bapak Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., M.MT selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak masukan dan ilmu bagi penulis.
4. Bapak Achmad Baidowi, S.T., M.T selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak masukan dan ilmu bagi penulis.
5. Bapak Adhi Iswantoro, S.T., M.T. Selaku dosen wali, yang selama ini mendukung dan memberikan ilmu yang bermanfaat.
6. Teman-teman seperjuangan ITS-119 di lab MMD yang selalu memberikan dukungan serta semangat kepada penulis untuk menyelesaikan Skripsi ini.
7. Teman-teman Lintas Jalur 2017 yang selalu memberikan semangat serta doa dan dukungan.
8. Semua pengurus dan anggota Laboratorium “Marine Manufacture and Design (MMD)” yang telah memberikan semangat dan transfer ilmu selama pengerjaan Skripsi ini.
9. Serta semua teman, sahabat dan pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu dalam membantu menyelesaikan skripsi ini.

Dalam pembuatan laporan Skripsi ini penulis menyadari bahwa dalam penyusunan dan analisa masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis berharap adanya kritik dan saran yang sifatnya membangun bagi penulis. Akhir kata, semoga dengan semua ini mendapat berkah sekaligus rahmat Allah SWT

sehingga analisa pembuatan desain dapat berkembang dan dapat diterapkan untuk industri perkapalan.

Surabaya, Januari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
LEMBAR PENGESAHAN iv
ABSTRAK viii
KATA PENGANTAR xii
DAFTAR ISI xiv
DAFTAR GAMBAR xvi
DAFTAR TABEL DAN GRAFIK xviii
BAB I
PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan 2
1.4 Manfaat.. 2
1.5 Batasan Masalah 3
BAB II
DASAR TEORI 5
2.1. Fluida 5
2.2. *Autonomous Underwater Vehicle* (AUV) 10
2.3. Gaya Aerodinamika.. 11
2.3.1 Gaya *Drag* (Gaya Hambat).. 12
2.3.2 Gaya *Lift* (Gaya Angkat)... 12
2.4.Bentuk Foil 13
2.4.1 Geometri Foil Standart NACA. 13
2.4.2 *Eagle Wing Shape Geometry*. 13
2.5 Dinamika Aliran Fluida secara Komputasi 14
2.5.1. Metode Elemen Hingga. 14
2.5.2. Metode Volume Hingga.. 15
2.5.3 Meshing 15
2.6 Penggunaan Baterai 15
2.6.1 AH (*Ampere Hour*)... 16
2.6.2 *Load Factor*.. 16
BAB III
METODOLOGI PENELITIAN 17
3.1 Diagram Alir Penelitian 18
a. Studi Literatur 19
b. Perumusan Masalah 19
c. Pembuatan Desain 19
d. Simulasi Menggunakan *Flow Simulation* 20
e. Analisa perbandingan Hasil *Flow Simulation* 20
f. Perhitungan Gaya Dorong (*Thrust*) pada setiap variable AUV 20
g. Perhitungan Optimasi pada setiap variable AUV 20
h. Pembuatan Laporan 20

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN 21
4.1Drag Force/Tahanan. 21
4.1.1 Desain Bodi AUV Menggunakan *Software CAD* 21
4.1.2 Desain Bridge dan Letak Propulsi AUV. 22
4.1.2.1 Desain Bridge. 22
4.1.2.2 Desain Letak Propulsi AUV. 23
4.1.3 Desain Perbedaan Jarak Bridging Pada AUV 24
4.1.4 Simulasi Fluent Pada Software CFD. 24
4.1.4.1 *Input Geometri*. 25
4.1.4.2 *Meshing*. 26
4.1.4.3 *Setup, Solution dan Result*. 28
4.1.4.4 *Run dan Iterasi*. 30
4.1.5 Hambatan AUV. 31
4.1.6 Analisa Hasil Visual Simulasi. 32
4.1.7.1 *Contour Pressure*. 32
4.1.7.2 *Contour Velocity*. 35
4.2 Analisa Perhitungan *Thrust* pada setiap variable AUV 36
4.2.1 Perhitungan *thrust* AUV. 37
4.2.2 Pemilihan penggerak utama AUV. 37
4.2.3 Perhitungan Optimasi pada setiap variable desain AUV. 39
4.3 Perhitungan Kebutuhan Listrik Pada AUV. 43
4.4 Perhitungan Kebutuhan Ballast AUV. 45
4.4.1 Perhitungan Total Volume Displacement AUV. 46
4.4.2 Perhitungan Total Berat AUV. 46
4.4.3 Perhitungan Total Volume Ballast yang Dibutuhkan Oleh AUV untuk Mampu Menyelam. 49
4.4.4 Perencanaan Kontruksi Desain Ballast Aktif AUV. 49

BAB V

PENUTUP
5.1 Kesimpulan 51
5.2 Saran 51

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

1.1 Penyelaman secara langsung 1
1.2 Penyelaman menggunakan AUV 1
2.1 Perbedaan sifat benda solid dengan fluida karena gaya geser 5
2.2 AUV (*Autonomous Underwater Vehicle*)..................... 10
2.3 ROV(*Double Eagle Sarov*) 10
2.4 SeaOtter MkI. 10
2.5 *Spesification* SeaOtter MkI..................... 11
2.6 AUV Razor. 11
2.7 *Spesification* AUV Razor. 11
2.8 Distribusi tekanan penyebab gaya angkat (*Lift Force*). 12
2.9 Geometri foil NACA. 13
2.10 Geometri Foil b-737. 14
3.1 Diagram Alir Simulasi AUV. 18
3.2 Ilustrasi Desain AUV 19
4.1 *Isometric* AUV 21
4.2 Geometri NACA 0024..................... 22
4.3 Geometri Bridge AUV. 23
4.4 Geometri Letak Propulsi pada AUV. 23
4.5 Jarak Bridging AUV Desain baru (ke 1). 24
4.6 Jarak Bridging AUV Desain baru (ke 2). 24
4.7 Jarak Bridging AUV Desain baru (ke 3). 24
4.8 Step Simulasi Aliran pada Software CFD. 24
4.9 Input Geometri & Kondisi Batas. 25
4.10 Koordinat Kondisi Batas. 25
4.11 Kondisi Batas Fungsi (*Inlet*)..................... 25
4.12 Kondisi Batas Fungsi (*Outlet*). 26
4.13 Kondisi Batas Fungsi (*Wall*). 26
4.14 Meshing Pada *Boundary Condition*..................... 26
4.15 Meshing Pada AUV *(Highlight)*..................... 27
4.16 Meshing Pada AUV & *Boundary Condition (highlight)*..................... 27
4.17 *Result of Meshing* AUV variable (ke 1) 27
4.18 *Result of Meshing* AUV variable (ke 2) 27
4.19 *Result of Meshing* AUV variable (ke 3) 27
4.20 Setup Data Simulasi 28
4.21 *Setup Material Fluida*..................... 28
4.22 *Setup Material* AUV..................... 28
4.23 *Setup Roughness*..................... 29
4.24 *Setup Axis Simulation* 29
4.25 *Solution Initialization*. 29
4.26 *Run Calculation*..................... 30
4.27 *Convergence History* Fd Variable (ke 1)..................... 30
4.28 *Convergence History* Fl Variable (ke 1)..................... 30

4.29 *Convergence History* Fd Variable (ke 2). 31
4.30 *Convergence History* Fl Variable (ke 2). 31
4.31 *Convergence History* Fd Variable (ke 3). 31
4.32 *Convergence History* Fl Variable (ke 3). 31
4.33 Contour Pressure Variable ke 1 (Isometri View). 32
4.34 Contour Pressure Variable ke 2 (Isometri View). 32
4.35 Contour Pressure Variable ke 3 (Isometri View). 32
4.36 Contour Pressure (Front View AUV) 33
4.37 Contour Pressure (Side View AUV). 33
4.38 Contour Pressure Top View AUV). 34
4.39 Contour Pressure Pada Cut Plane Tengah Bridge. 34
4.40 *Static Pressure* pada AUV Variable 1 34
4.41 *Static Pressure* pada AUV Variable 2 35
4.42 *Static Pressure* pada AUV Variable 3 35
4.43 *Contour Velocity (Isometri View).* 35
4.44 *Contour Velocity pada cut plane* tengah torpedo 36
4.45 *Contour Velocity pada cut plane* tengah bridge 36
4.46 Spesifikasi Umum Thruster. 37
4.47 Dimensi Thruster. 38
4.48 Identitas Thruster. 38
4.49 Mass Properties Bridge Pada AUV. 46
4.50 Kontruksi AUV, Kontruksi Ballast , UAV, Launcher. 48
4.51 Geometri Kontruksi Aktif Ballast. 49

DAFTAR TABEL DAN GRAFIK

TABEL

4.1 Spesifikasi AUV 21
4.2 Airfoil Geometri NACA 0024 22
4.3 Hasil *Simulasi Drag Force* 32
4.4 Tahanan AUV setiap variable 37
4.5 Thrust AUV 37
4.6 Perbandingan nilai tahanan, thrust kebutuhan AUV dan thrust penggerak utama AUV 40
4.7 Thrust Kebutuhan AUV vs *Power Consumption*.. 40
4.8 Tabel Komparasi Pemilihan Baterai. 43
4.9 List Peralatam Elektronik AUV. 43
4.10 Tabel Komparasi Pemilihan Baterai. 45
4.11 Perhitungan Volume AUV 46
4.12 Perhitungan Massa Kontruksi AUV. 46
4.13 Perhitungan Massa Kontruksi Ballast AUV. 47
4.14 Perhitungan Massa Peralatan Elektrical AUV. 48
4.15 Perhitngan volume Aktif Ballast AUV. 49

GRAFIK

4.1 Hasil *Simulasi Drag Force* 32
4.2 *Input Power & Thrust* vs Proppeler RPM 39
4.3 *Thrust vs Voltage Change*. 39
4.4 Thrust Kebutuhan AUV vs Penggerak Utama AUV 40

Halaman ini sengaja dikosongkan

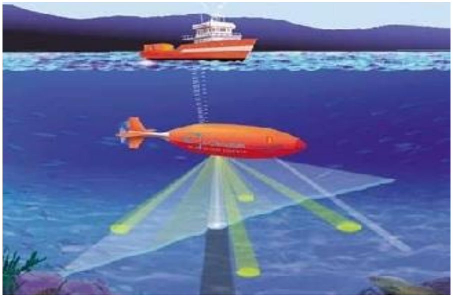
BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negeri dengan wilayah perairan yang luas. Di dalamnya terkandung potensi alam yang melimpah seperti garam, terumbu karang, minyak bumi, serta ribuan spesies ikan dengan berbagai macam bentuk dan warnanya. Namun, kurangnya perhatian pemerintah membuat potensi perairan menjadi sirna, bahkan menjadi milik negara lain. Minyak dan gas di bawah laut mampu ditemukan oleh perusahaan asing dengan perangkat eksplorasi canggih, sehingga menjadi hak miliknya. Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki sumber daya alam yang melimpah. Pulau natuna adalah salah satu kepulauan yang memiliki sumber daya alam gas bumi. Namun natuna akhir-akhir ini sedang ada permasalahan konflik dengan negara cina tentang perebutan sengketa hak milik pulau natuna yang sebabkan oleh sumber kekayaan yang banyak di pulau natuna. [1]

Untuk menjawab tantangan alam dalam pengoptimalkan potensi laut, para peneliti mengembangkan *Remote Operated Vehicle* (ROV) dan *Autonomous Underwater Vehicle* (AUV) sebagai alat untuk mengekplorasi benda-benda di laut. AUV adalah kendaraan bawah air yang mampu bergerak didalam air secara otomatis tanpa adanya kontrol langsung dari manusia. ROV adalah kendaraan bawah air yang gerakannya dikendalikan secara langsung oleh manusia melalui remote control dari atas permukaan air. Untuk eksplorasi bawah laut dengan kedalaman hingga 300 m diperlukan pemantauan kondisi bawah laut secara teliti, tepat, akurat dan mampu bergerak secara otomatis tanpa kendali manusia. Oleh karena itu penelitian kali ini akan menggunakan AUV sebagai sarana untuk eksplorasi bawah laut. Hal ini disebabkan AUV mampu bergerak otomatis serta tidak menggunakan remote dan kabel dalam pengoprasiannya. [2]

Gambar 1.1 (a)
Penyelaman secara langsung



Gambar 1.1 (b)
Penyelaman mengunakan AUV

Gambar 1.1.(a) memperlihatkan pengamatan kondisi bawah laut yang dilakukan oleh manusia dengan cara menyelam secara langsung kedalam laut. Cara ini mengandalkan keahlian penyelam dalam mengambil gambar/video beserta keadaan bawah air lainnya. Jika keahlian dan kondisi fisik penyelam kurang optimal, maka keselamatan jiwa penyelam akan terancam oleh kondisi laut.

Pengamatan bawah laut pun akan tidak sesuai harapan. Pada gambar 1.1 (b) pengamatan bawah laut dilakukan oleh robot bawah air (AUV) yang secara otomatis mampu mengambil gambar atau video. Cara ini tidak membahayakan jiwa manusia, tetap diperlukan robot AUV dengan teknologi terbaru .

Akan tetapi, pada tugas akhir kali ini yang membedakan dari yang sebelumnya adalah AUV mempunyai tujuan ganda atau (*multi purpose)* , yang pertama adalah untuk memonitor kawanan kapal lawan yang berada di daerah lingkup serang atau didaerah pesisir pantai dari wilayah,sehingga TNI AL bisa mempersiapkan lebih cepat sebelum kedatangan kapal lawan. , yang kedua adalah untuk mengantarkan misi kedua untuk melontarkan AUV pada lawan yang berada di udara.

Pembuatan desain didasarkan pada kebutuhan dari luasan dan fungsi dari AUV itu sendiri, Pada proses joining torpedo juga akan dilakukan perubahan proses penyambungan. Pembuatan desain juga di pengaruhi oleh standart foil NACA pada bagian bridge yang bertujuan untuk mendapatkan tahanan yang paling kecil, sehingga akan di perbandingkan dari 3 variable yang telah di buat menggunakan optimasi pada jumlah baterai. Pada proses joining torpedo juga akan dilakukan perubahan proses penyambungan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Berapa perbandingan nilai tahanan pada 3 variable desain ?
2. Berapa gaya dorong yang dibutuhkan penggerak utama untuk mendorong AUV?

1.3 Tujuan

1. Untuk mengetahui perbandingan nilai tahanan pada 3 variable desain.
2. Untuk mengetahui gaya dorong yang dibutuhkan penggerak utama untuk mendorong AUV.

1.4 Manfaat

Dalam penelitian ini diharapkan dari 3 variable desain yang di buat akan didapatkan desain yang efektif dari sisi tahanan, dan effisiensi operasional yang akan dilakukan oleh AUV.

Atau bisa dikatakan Desain AUV yang optimal berdasarkan jumlah konsumsi daya penggerak utama paling sedikit dalam waktu 1 jam.

1.5 Batasan Masalah

Aspek yang menjadi batasan dalam penyelesaian *Autonomous Underwater Vehicle* (AUV) ini antara lain :

1. AUV beroperasional pada kecepatan 10 m/s atau 19.438 knot selama 1 jam
2. Penggerak utama dan penempatannya tetap
3. Kondisi lingkungan air laut dengan densitas tetap
4. Geometri tetap = - Panjang AUV
- Tinggi AUV
- Bentuk Torpedo

- Bentuk Fin

5. AUV hanya bergerak kearah horizontal (surge) dan tidak membahas perubahan sudut
6. Tidak ada pembahasan tentang sistem ballast dan rangkaian kelistrikan
7. Tidak ada pembahasan tentang manajemen ekonomi pembuatan dan operasional dari AUV.
8. Tidak ada pembahasan tentang stabilitas dan kekuatan struktur AUV.

Halaman ini sengaja dikosongkan

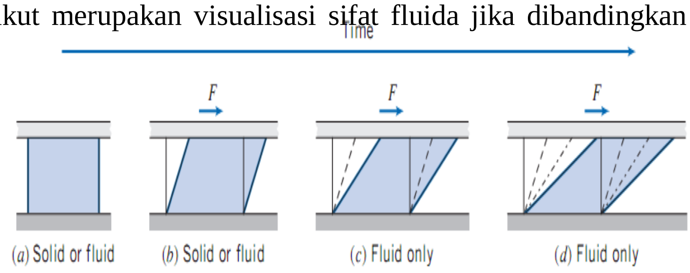
BAB II
DASAR TEORI

2.1 Fluida

Mekanika Fluida adalah cabang ilmu yang mempelajari mengenai zat fluida bergerak atau diam serta gaya akibat yang ditimbulkan oleh fluida tersebut pada batasnya. Sedangkan fluida sendiri merupakan zat yang akan mengalami deformasi secara terus menerus jika diberikan tegangan geser (tangensial) tidak peduli seberapa kecil tegangan geser tersebut. Batas tersebut dapat berupa permukaan padat atau fluida lainnya.

Pembahasan tentang fluida yang bergerak yaitu dengan mengembangkan persamaan-persamaan dasar untuk pengetrapan teori analisis berdasarkan volume atur. Analisis didasarkan pada volume atur, karena: Pertama, fluida sebagai media dapat mengalami distorsi dan deformasi secara terus menerus dan oleh karenanya sangat sulit sekali untuk mengindentifikasikan suatu massa yang sama di setiap saat. Kedua, lebih sering berurusan dengan pengaruh dari gerakan fluida secara menyeluruh terhadap suatu peralatan maupun terhadap bangunan konstruksi tertentu. Ketiga, lebih sering berurusan dengan pengaruh dari gerakan fluida secara menyeluruh terhadap suatu peralatan maupun terhadap bangunan konstruksi tertentu.

Secara umum terdapat perbedaan antara fluida dengan benda solid, dimana benda solid tidak terjadi deformasi secara kontinyu selama gaya (F) yang dikenakan lebih kecil dibanding batas elastisnya. Sedangkan fluida sendiri akan mengalami deformasi secara terus menerus jika di berikan tegangan geser (tangensial) seiring berjalannya waktu, seberapa kecil tegangan geser tersebut tidak akan berpengaruh. Kondisi di lapangan menyatakan bahwa jika fluida berada dalam keseimbangan, fluida tidak dapat menahan gaya tangensial atau gaya geser.Berikut merupakan visualisasi sifat fluida jika dibandingkan dengan benda solid.



Gambar 2.1Perbedaan sifat benda solid dengan fluida karena gaya geser

(Fox And McDonald's, 8th edition) [2]

Fluida memiliki sifat mengikuti perubahan bentuk wadah serta kemampuannya untuk mengalir menuju suatu tempat. Sifat ini dikarenakan salah satu dari sifat ketidakmampuan fluida melawan tegangan geser (shear stress) yang terjadi khususnya dalam kondisi static equilibrium.

Berdasarkan pergerakan partikelnya, aliran fluida dibedakan menjadi aliran laminar dan turbulen. **Aliran laminar** merupakan aliran fluida yang bergerak dengan kondisi lapisan-lapisan (lamina-lamina) yang membentuk garis-garis alir dan tidak berpotongan satu sama lain. **Aliran turbulen** adalah aliran fluida yang partikel-partikelnya bergerak secara acak dan tidak stabil dengan kecepatan berfluktuasi yang saling interaksi. Akibat dari hal itu maka garis alir antar partikel fluidanyaakan saling berpotongan. Untuk menentukan aliran fluida tersebut aliran laminar ataupun aliran turbulen dapat dilihat dari nilai bilangan Reynold –nya, pada *external flow* (aliran tersebut melewati suatu *contourbody* yang berada pada aliran fluida tanpa batas), pada aliran laminar bilangan Reynold –nya $\leq 5 \times 10^5$, dan pada aliran turbulen bilangan Reynold – nya $> 5 \times 10^5$.

Kemudian aliran fluida diklasifikasikan berdasarkan perubahan terhadap waktu yaitu aliran tunak (*steady flow*) dan aliran tak tunak (*unsteady flow*). Aliran tunak (*steady flow*) terjadi jika kondisi fluida pada titik manapun tidak terjadi perubahan kecepatan terhadap waktu dengan jangka waktu yang tidak terbatas dan dapat dinotasikan dengan $\frac{\partial v}{\partial t} = 0$, apabila pada kondisi kecepatan aliran berubah terhadap waktu $\frac{\partial v}{\partial t} \neq 0$, maka aliran tersebut digolongkan menjadi aliran tak tunak (unsteady flow).

Cairan adalah suatu zat yang memiliki densitas dan viskositas. Densitas tergantung pada tekanan (P) dan temperatur (T). Pada umunya wahana ini di dalam air melaju dengan kecepatan dibawah sepertiga kecepatan suara. Pada batas kecepatan tersebut harga variasi tekanan dan temperatur dalam aliran dengan harga freestream sangat kecil, oleh karena itu perubahan pada densitas dapat diabaikan. Dengan demikian aliran fluida berupa cairan yang mengalir di sekeliling wahana dapat dikategorikan sebagai aliran fluida incompressible.

Properti lain dari cairan adalah viskositas. Properti ini dikarenakan oleh gesekan molekuler antar partkel-partikel fluida. Gesekan ini berhubungan dengan fluks momentum, karena adanya gradient kecepatan. Untuk fluida incompressible, properti ini bergantung pada temperatur. Viskositas yang dimiliki fluida ini dapat menyebabkan terjadinya friction drag sehingga timbul gradien kecepatan pada dinding.

2.1.1 Sifat-sifat Fluida (Cairan)

Cairan adalah fluida yang memiliki densitas dan viskositas. Densitas (ρ) didefinisikan sebagai massa persatuan volume. Properti ini tergantung pada tekanan (P) dan temperatur (T). Kendaraan di jalan pada umumnya berjalan dengan kecepatan dibawah sepertiga kecepatan suara. Pada batas kecepatan tersebut harga variasi tekanan dan temperatur dalam aliran dengan harga freestream sangat kecil, oleh karena itu perubahan pada densitas dapat diabaikan. Dengan demikian aliran udara yang mengalir di sekeliling kendaraan dapat dikategorikan sebagai aliran fluida incompressible. Untuk kondisi standar, P = 1 atm dan T = 288 K, harga densitas atau ρ = 1,2250 kg/m^3.

Properti lainnya dari udara adalah viskositas. Properti ini disebabkan oleh gesekan molekuler antara partkel-partikel fluida. Gesekan ini berhubungan dengan fluks momentum karena gradient kecepatan. Untuk fluida incompressible, properti ini bergantung pada temperatur. Pada kondisi standar viskositas μ = 1,7894 x 10^{-5} Ns/m^2 dan υ = 1,4607x10^{-5} m^2/s. Viskositas yang dimiliki fluida ini menyebabkan terjadinya friction drag sehingga timbul gradien kecepatan pada dinding.

2.1.2 Densitas

Densitas (ρ) atau kerapatan suatu zat adalah ukuran untuk kosentrasi zat tersebut yang dinyatakan dalam massa persatuan volume pada atmosfer bumi. Properti ini bergantung pada tekanan (P) dan temperatur (T). Densitas dinyatakan dalam tiga bentuk, yaitu:

1) Densitas Massa

   Densitas massa merupakan perbandingan jumlah massa dengan jumlah volume. Densitas massa dapat dirumuskan dalam bentuk persamaan:

   $$\rho = \frac{m}{\forall} \qquad (2.1)$$

   Dimana: m = massa (kg)

   $\forall$ = volume (m3)

   ρ = massa jenis (kg/m3)

   Harga standarnya pada tekanan P = 1,01325 x 10^5 N/m^2 dengan temperatur 288,15 K sehingga densitas udara 1,225 kg/m^3 dan untuk air laut adalah 1,025 kg/m^3.

2) Berat Spesifik

   Didefinisikan sebagai gaya gravitasi terhadap massa yang terkandung dalam sebuah satuan volume zat.

   $$\gamma = \rho . g \qquad (2.2)$$

Dimana: γ = berat spesifik (N/m^3)
Untuk γ udara = 12,07 N/m^3 dan γ air = 9,81 x 10^3 N/m^3.

3) Densitas Relatif (Spesific Grafity)

Densitas relatif disebut juga spesific grafity (SG) yaitu perbandingan antara berat spesifik suatu zat dengan berat spesifik air. Karena kerapatan semua zat cair bergantung pada temperatur serta tekanan, maka temperatur zat cair yang dipertanyakan, serta temperatur air dijadikan acuan, harus dinyatakan untuk mendapatkan harga-harga gravitasi yang tepat.

$$SG = \frac{\gamma_{zat}}{\gamma_{air}} \quad (2.3)$$

2.1.3 Viskositas

Viskositas merupakan pengukuran ketahanan fluida terhadap deformasi, sedangkan viskositas sendiri disebabkan oleh gesekan molekuler antara partkel-partikel fluida. Gesekan ini berhubungan dengan fluks momentum karena gradient kecepatan. Untuk fluida incompressible, properti ini bergantung pada temperatur. Viskositas dinyatakan dalam dua bentuk yaitu:

1) Viskositas Dinamis (μ)

Viskositas dinamis merupakan perbandingan tegangan geser dengan laju perubahannya, besarnya viskositas air bervariasi dan dipengaruhi temperatur. Pada kondisi standar (temperatur kamar 26,5°C) besar viskositas dinamik adalah μ air= 8,6 x 10^{-3} Ns/m^2 dan μ udara= 1,7894 x 10^{-5} Ns/m^2

2) Viskositas Kinematik (ν)

Merupakan perbandingan viskositas dinamik (μ) terhadap kerapatan (ρ) :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.4)$$

Viskositas kinematik muncul dalam banyak terapan, misalnya dalam bilangan reynold yang tanpa dimensi.Untuk νairpadatemperatur 26,5°C ialah 8,6 x 10^{-7} m^2/s dan νudara1,4607x10^{-5} m^2/s

1.1.4 Bilangan Reynolds

Kondisi aliran laminar atau turbulen dapat dinyatakan dengan bilangan Reynolds untuk aliran incompressible. Jenis lapis batas pada aliran udara yang mengaliri suatu obyek juga sangat ditentukan oleh bilangan Reynolds (Re). Hal ini dapat dijelaskan bahwa dalam lapis batas, gaya geserdan gaya inersia sangat penting. Sedangkan bilangan Reynolds sendiri mengambarkan perbandingan.

Antara gaya inersia terhdap gaya geser yang mengkuantifikaskan hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu.

$$Re=\frac{Gaya\ inersia}{Gaya\ geser} \tag{2.5}$$

dimana : Gaya Inersia = p x A = $\rho.U_{\infty}^{2}.L^{2}$

Gaya Geser = τ x A = $\left(\frac{\mu.U_{\infty}}{L}\right).L^{2}$

Sehingga,

- Untuk aliran eksternal

$$Re \quad \frac{\rho.U_{\infty}^{2}.L^{2}}{\left(\frac{\mu.U_{\infty}}{L}\right).L^{2}} = \frac{\rho.U_{\infty}.L}{\mu} \tag{2.6}$$

dimana : ρ : Densitas fluida

U_{∞} : Kecepatan aliran free stream fluida

L : Panjang karakteristik yang diukur pada medan aliran, dalam kasus ini digunakan diameter hidrolis, yaitu Dh

μ : Viskositasdinamis fluida

- Untuk aliran internal

Diameter hidrolis (Dh) digunakan untuk perhitungan saluran yang tidak berbentuk bundar. Diameter hidrolis dapat didefinisikan sebagai

$$Dh = \frac{4.A}{P} \tag{2.7}$$

Dimana : A = Luas penampang

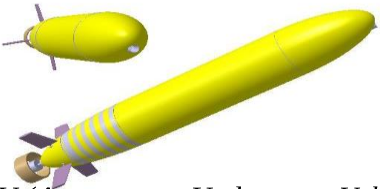
P = keliling penampang

Sehingga,

$$Reh = \frac{\rho.U_{\infty}.D_{h}}{\mu} \tag{2.8}$$

2.2 *Autonomous Underwater Vehicle (AUV)*

Autonomous Underwater Vehicle (AUV) adalah wahana tanpa awak bawah laut. AUV juga dikenal juga sebagai robot kabel tanpa awak yang dilengkapi dengan sensor dengan tujuan tertentu. Kapal selam merupakan sebuah wahana yang unik karena bisa mengapung dan menyelam di air sesuai kebutuhan. [3] Dalam aplikasinya AUV memeberikan kontribusi berupa membantu manusia dalam upaya pemberdayaan dan eksplorasi perairan di Indonesia, pemeriksaan pipa bawah laut dalam industri minyak dan gas, pemetaan daerah bawah laut, hingga keperluan militer. Pada umumnya AUV memiliki bentuk seperti torpedo seperti gambar dibawah ini.

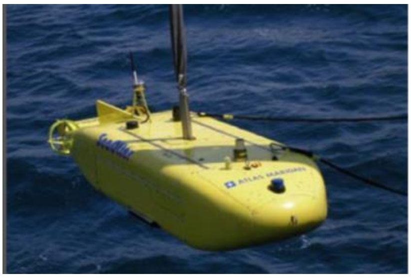


Gambar 2.2 AUV (*Autonomous Underwater Vehicle*)[1]

Gambar 2.3 ROV (*Double Eagle Sarov*)

Spesification :

Weight in air Approx.	*: 540 kg*
Length	*: 2.9 m*
Width	*: 1:.3 m*
Height	*: 1.0 m*
Operational depth	*: 500 m (1 500 m or 3 000 m Optional)*
Speed	*: 0 – 8 knots AUV mode*
Propulsion	*: Two 5 kW brushless motors. Approx. 2,500 N forward thrust. Six 400W brushless motors*
Endurance	*: 10+ hours (AUV Mode)*



Gambar 2.4 SeaOtter MkI

Specification Summary SeaOtter		
	SeaOtter MkI	SeaOtter MkII
Dimension (l x w x h, weight)	4.5 m x 1.2 m x 0.6 m, 1500 kg	3.45 m x 0.98 m x 0.48 m, 1100 kg
Speed Range	0.5 - 5.0 kts	0.0 - 8.0 kts
Optimal Survey Speed	3.0 kts	4.0 kts
Current range	2.0 kts	3.0 kts
Turn Radius	10 m (adjustable)	< 10 m @ 4 kts
Maximum Operational Depth	600 m	

Gambar 2.5 *Spesification* SeaOtter MkI

Gambar 2.6 AUV Razor

SPECIFICATION/CAPABILITIES

Parameter	Requirement
L x W x H	5.5 ft x 2.5 ft x 11 inches
Endurance	6 –20 hours (1 – 3 batteries) Field replaceable
Energy	1.5 kW/hr (per battery) Tolerant Lithium Battery
Communications	WiFi 54Mbs secure
Navigation	Inertial Navigation System
Depth Rating	100 meters

Gambar 2.7 *Spesification* AUV Razor

2.3 Gaya Aerodinamika

Merupakan gaya-gaya yang diterima oleh satu bodi akibat fluida yang mengalir . Dengan adanya fluida yang mengalir maka mendapat gaya tekan dan geser. Akibatnya gaya-gaya teresebut membentuk resultan gaya yang disebut gaya aerodinamika. Untuk resultan yang searah dengan aliran disebut gaya drag, sedangkan gaya yang tegak lurus aliran adalah gaya lift.

Perbedaan tekanan antara permukaan atas dan bawah menimbulkan gaya resultan yang arahnya tegak lurus dengan arah datangnya aliran fluida, gaya ini disebut sebagai gaya angkat (*lift force*). Perbedaan tekanan antara bagian depan dan

belakang akan menimulkan daya resultan yang arahnya searah dengan arah datangnya aliran fluida gaya ini disebut sebagai gaya hambat.[4] Drag dan lift dapat dihitung dengan cara numeric dengan menggunakan software cfd [5]

2.3.1 Gaya *Drag* (Gaya Hambat)

Gaya hambat (*drag force*) adalah gaya yang bekerja dalam arah horizontal (pararel terhadap aliran) dan berlawanan arah dengan arah gerak maju kendaraan. Besarnya gaya hambat (drag) untuk setiap bentuk kendaraan berbeda satu dengan yang lainnya, dan ini tergantung pada faktor koefisien drag atau CD. selain itu juga dipengaruhi oleh luasan frontal dari kendaraan, dan tekanan dinamik. Adapun perumusan gaya hambat (drag) adalah sebagai berikut:

$$F_D = \frac{1}{2} C_d . \rho . V_a^2 . A_f \qquad (2.9)$$

Dimana: C_d = Koefisien Drag

F_d = *Drag Force*

A_f = Frontal Area

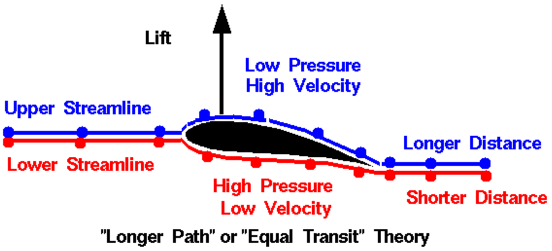
ρ = Densitas air

V = Kecepatan relative

2.3.2 Gaya *Lift* (Gaya Angkat)

Perbedaan bentuk antara permukaan atas dan bagian bawah pesawat menyebabkan aliran udara pada permukaan atas lebih cepat daripada aliran udara pada permukaan bawah, sehingga tekanan pada permukaan atas pesawat lebih rendah daripada tekanan permukaan bawah.

Faktor lain adalah bentuk *aerofoil* dan komponen lain yang memperlambat aliran di bawah sehingga memperbesar tekanan aliran permukaan bawah. Karena itu tekanan yang bekerja pada bagian bawah secara umum lebih besar dari tekanan yang bekerja pada bagian atas pesawat sehingga menimbulkan terbentuknya gaya angkat karena adanya desakan aliran udara dari permukaan bawah ke permukaan atas seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.8 Distribusi tekanan penyebab gaya angkat *(lift force)*

Gaya ini bekerja dalam arah vertikal dan biasanya arah ke atas ditandai sebagai arah positif dan ke bawah sebagai arah negatif seperti pada penjelasan pada gambar 2.4. Gaya *lift* secara total dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F_L = \frac{1}{2} C_L.\rho.V_a^2.A_p \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.10)$$

Dimana: C_L = koefisien gaya angkat.

F_l = *Lift Force*

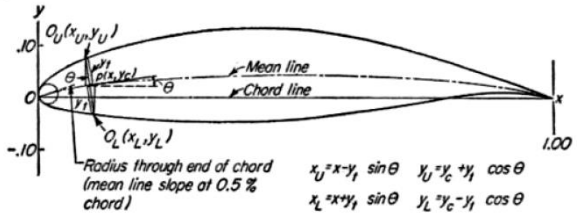
Ap = *planeform area*

2.4 Bentuk Foil

Bentuk foil menghasilkan gaya angkat (lift force) ketika foil dilewati oleh aliran fluida karena adanya pengaruh interaksi antara aliran fluida dengan permukaan foil yang mengakibatkan tekanan permukaan atas lebih kecil dari permukaan bawah. Bagaimana mengaplikasikan teori foil pada hydroplane kapal selam sebagai system penyelaman, dengan membalik foil maka lift force tersebut menjadi gaya ke bawah, dengan demikian memungkinkan kapal selam dapat menyelam, melayang dan bermanouver di bawah air, seperti halnya gerak pesawat terbang yang terbang dan melayang dengan menggunakan sayap.

2.4.1 Geometri Foil Standart NACA

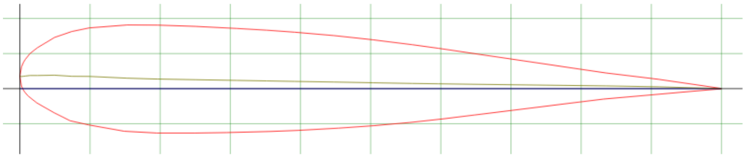
Seri foil NACA awal, 4-digit, 5-digit, dan modifikasi 4- / 5-digit, dibuat menggunakan persamaan analitik yang menggambarkan camber (kelengkungan) dari mean-line (geometric centerline) dari bagian airfoil serta distribusi ketebalan bagian di sepanjang airfoil. Kemudian keluarga, termasuk 6-Series, adalah bentuk yang lebih rumit yang diturunkan menggunakan teori daripada metode geometris.



Gambar 2.9 Geometri foil NACA

2.4.2 *Eagle Wing Shape Geometry*

Desain *Eagle wing shape* ini adalah salah satu desain yang dikembangkan untuk mendapatkan nilai CD CL yang lebih stabil dan akan diaplikasikan pada wave glider (kapal robot tanpa awak yang memanfaatkan gelombang sebagai penggeraknya. [6]



Gambar 2.10 Geometri foil b-737

Foil ini memiliki max thickness 15.4% pada 20% chord. Max camber 0.2% pada 5% chord.

2.5 Dinamika Aliran Fluida secara Komputasi (*Computational Fluid Dynamics*)

CFD merupakan teknologi komputasiyang dapat digunakan untuk mempelajari aspek dinamika dari benda-benda atau zat mengalir [7]. Computational fluid dynamics (CFD) merupakan perangkat analisa system dengan melibatkan aliran fluida, perpindahan panas, momentum, perpindahan energi, dan fenomen aliran lain didasarkan simulasi berbantuan computer. Simulasi menggunakan CFD menghasilkan parameter-parameter penting seperti tekanan, suhu, kecepatan, dan laju alir massa (mass flow rate).

Secara sederhana proses perhitungan yang dilakukan oleh aplikasi CFD adalah dengan kontrol kontrol perhitungan yang telah dilakukan maka kontrol perhtungan tersebut akan dilibatkan dengan memanfaatkan persamaan persamaan yang terlibat. [8] Penyederhanaan CFD terdiri dari tiga tahapan proses pengerjaan, yaitu preprocessing (spesifikasi geometri, pemilihan turbulence model, spesifikasi parameter dan grid generation) kemudian postprocessing (visualization dan treatment data). Software CFD akan memberikan data-data, gambar-gambar, atau kurva-kurva yang menunjukkan prediksi dari performansi keandalan sistem yang telah didesain tersebut. Hasil analisis CFD bisa menyajikan prediksi kualitatif dan kuantitatif dari berbagai persoalan dinamika fluida.

2.5.1 Metode Elemen Hingga (*Finite Elemen Method*)

Analisa numerik dengan menggunakan perangkat Computational Fluid Dynamic (CFD) dilakukan untuk mengevaluasi karakteristik aliran di sekeliling badan AUV atau kapal selam mini.[9] Jika perkiraan persamaan tersebut tidak dipenuhi, sisa (residual) dapat diukur tingkat kesalahannya. Kemudian sisa terseut diminimumkan dengan cara mengalikannya dengan fungsi berat dan mengintegralkannya. Hasilnya merupakan fungsi aljabar untuk koefisien yang tidak diketahui dari fungsi perkiraan.

2.5.2 Metode Volume Hingga (*Finite Volume Method*)

Metode ini dikembangkan sebagai formulasi khusus metode beda

hingga. Secara global metode beda hingga memiliki algoritma numerik sebagai berikut :

a. Pengintegralan persamaan pengendali aliran fluida terhadap seluruh kontrol volume dari domain penyelesaian.
b. Pendeskritan yang meliputi substitusi sebagai pendekatan beda hingga dari suku-suku persamaan yang diintegralkan tersebut diatas yang menggambarkan proses aliran seperti konveksi difusi, dansource. Pada tahap ini persamaan integral akan diubah menjadi persamaan aljabar.
c. Penyelesaian persamaan aljabar dengan metode literasi.

2.5.3 Meshing

Pada proses pembuatan *mesh* juga terdapat metoda *standard mesh,curvature mesh, blended curvature mesh*. Pada metode *standard*, mesh di atur global mesh dan toleransi *mesh*, kemudian . Sedangkan pada metode *curvature mesh*, mesh dibuat langsung pada entiti geometri yang berbentuk lengkungan, yaitu bidang atau volume. Pada *blended curvature mesh* , *mesh* dibuat langsung pada entity geometri yang berbentuk banyak terjadi lengkugan, ukuran *mesh* pada obyek tersebut seragam pada semua bagian obyek, sehingga tidak cocok digunakan untuk kasus yang mempunyai obyek dengan bentuk yang rumit dan memerlukan ukuran mesh yang berbeda-beda pada tiap bagian demi mengurangi jumlah *mesh*. Pada umumnya prinsip dasar *meshing* adalah mengurangi ukuran meshing keseluruhan, membuat sel-sel kecil sebisa mungkin hanya untuk daerah yang diperlukan (misal daerah dimana gradien tekanan/kecepatan/apa pun yang diperkirakan tinggi).

2.6 Penggunaan Baterai

Penggunaan baterai di AUV adalah satu-satunya cara untuk mensupply kebutuhan energi yang dapat dilakukan untuk mengoprasikan peralatan dan penggerak utama dari AUV, hal tersebut disebabkan terputusnya koneksi suplay energi listrik dari permukaan laut, atau dari pantai. Hal itu adalah alasan betapa pentingnya menghitung kebutuhan batray sesuai dengan perlatan yang digunakan dan dalam waktu yang dibutuhkan, sehingga dapat mengetahui jumlah dan kapasitas baterai yang akan digunakan. Sebagai alternatif masa depan sumber energi listrik yang bahan bakarnya berasal dari energi fosil bisa diganti menggunakan sumber energi listrik dari cahaya matahari. [10]

2.6.1 AH (*Ampere Hour*)

AH adalah satuan untuk menytakan bahwa setiap arus (*ampere*) yang keluar dari baterai tersebut akan mampu bertahan selama nilai tersebut tanpa

melakukan pengisian kembali.

$$AHrequired = \frac{Totalbateraipower}{Voltagebaterai} \ldots\ldots\ldots \quad (2.11)$$

2.6.2 Load Factor

Load factor adalah perbandingan antara beban rata-rata terhadap beban puncak yang diukur dalam suatu periode tertentu.

$$Loadfactor = \frac{AHrequired}{AHbaterai * jumlahbaterai} \ldots\ldots\ldots \quad (2.12)$$

BAB III
METODOLOGI

Pada penelitian kali ini bertujuan untuk desain AUV yang paling optimal berdasarkan konsumsi daya penggerak utama paling sedikit dalam waktu 60 menit.

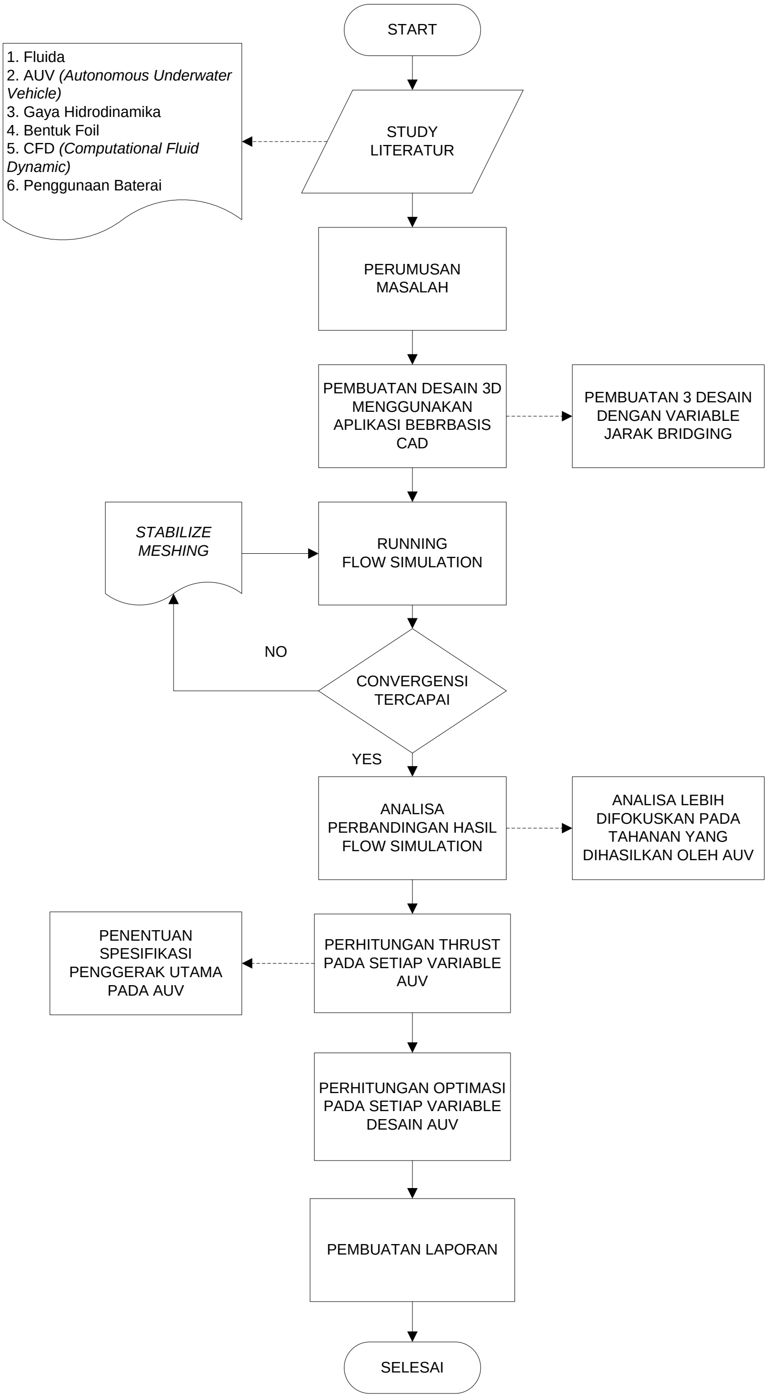
Langkah yang pertama pada penelitian kali ini adalah membuat 3 variable desain dengan perbedaan panjang bridging disetiap desainnya. *Bridging* adalah jembatan atau fungsi penghubung dalam sistem AUV dengan desain *double hull*. Atau pada kapal di atas permukaan adalah kapal katamaan yang mempunyai 2 hull dan di hubungkan dengan luasan penampang yang ada di atasnya. *Bridging* tersebut berfungsi untuk memperluas darah dari AUV yang mempunyai tujuan ganda seperti yang ada di latar belakang dari penelitian ini.

Pada penelitian kali ini juga akan dibatasi oleh beberapa variable tetap yang bertujuan untuk memastikan apakah perbandingannya sudah *apple to apple* dan bisa dikatakan sebanding untuk di perbandingkan. Variable tetap tersbeut adalah sebagai berikut :

1. AUV beroperasi pada pada kecepatan 10 m/s atau 19.438 knot selama 1 jam.
2. Penggerak utama dan penempatannya tetap
3. Kondisi lingkungan air laut dengan densitas yang tetap
4. Geometri tetap =
   - Panjang AUV
   - Tinggi AUV
   - Bentuk Torpedo
   - Bentuk Fin

Untuk mendapatkan hasil penelitian berupa daya terkecil dari penggerak utama AUV adalah dengan membandingkan hasil simulasi aliran , dari simulasi tersebut akan didapatkan nilai tahanan dari setiap variable desain. Kemudian akan dilakukan perbandingkan nilai tahanan. Dari data tahanan terseut akan dihitung nilai thrust atau gaya dorng pada setiap variable desain. Dan akan dilakukan pencarian penggerak utama yang sama untuk setiap variable desain AUV yang akan digunakan untuk perhitungan selanjutnya sehingga mendapatakan nilai yang paling optimal dari desain AUV.

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Simulasi AUV

Proses dalam menyelesaikan ini melalui beberapa tahapan sesuai dengan diagram alir, yaitu sebagai berikut :

a. Studi literatur

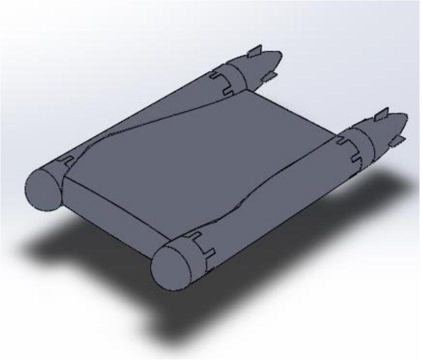
Studi literatur ini meliputi kegiatan mencari dan mempelajari bahan pustaka yang berkaitan dengan struktur dari AUV, komponen AUV serta dimensinya. Studi literatur ini diperoleh dari berbagai sumber diantaranya adalah buku, publikasi ilmiah, tugas akhir, penelitian yang berkaitan dengan AUV dan media internet.

b. Perumusan Masalah

Setelah dilakukan studi literatur, banyak informasi yang didapat. Dengan adanya informasi yang telah didapat, timbul suatu permasalahan. Permasalahan tersebut yaitu bagaimana gaya-gaya yang bekerja pada AUV yang didasarkan pada keefisiensian penggunaan sumber daya sebagai bahan bakar utamanya.

c. Pembuatan Desain

Dilakukan pembuatan desain AUV menggunakan *software* CAD tiga dimensi dengan 3 variable bridging .



Gambar 3.3 Ilustrasi Desain AUV

d. Simulasi Menggunakan *Flow Simulation*

Pada tahap ini dilakukan simulasi aliran menggunakan *software CFD* sehingga didapatakan nilai dari *drag force* atau tahanan dari desain yang baru dibuat.

e. Analisa Hasil Perbandingan *Flow Simulation*

Pada tahap ini dilakukan analisa perbandingan hasil simulasi lebih difokuskan pada nilai *drag force* atau tahanan yang dihasilkan oleh setiap variable bridging AUV.

f. Perhitungan Gaya Dorong (*Thrust)* Pada Setiap Variable AUV

Pada tahap ini dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai gaya dorong (*Thrust*) dari AUV. sekaligus dari nilai tersbut akan digunakan untuk mendapatkan penggerak utama dari AUV.

g. Perhitungan Optimasi Pada SetiapVariable AUV

Setelah didapatkan penggerak utama dari AUV. maka dilakukan perbandingan terhadap setiap tahanan yang dihasilkan oleh setiap variable desain dengan konsumsi baterai yang dihasilkan oleh penggerak utama dalam waktu 1 jam.Sehingga akan didapatkan desain mana yang paling optimal pada variable dari desain AUV tersebut.

h. Pembuatan Laporan

Setelah dilakukan semua tahap maka akan dilakukan pembuatan laporan agar mampu dibaca dengan mudah dan baik oleh setiap kalangan.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

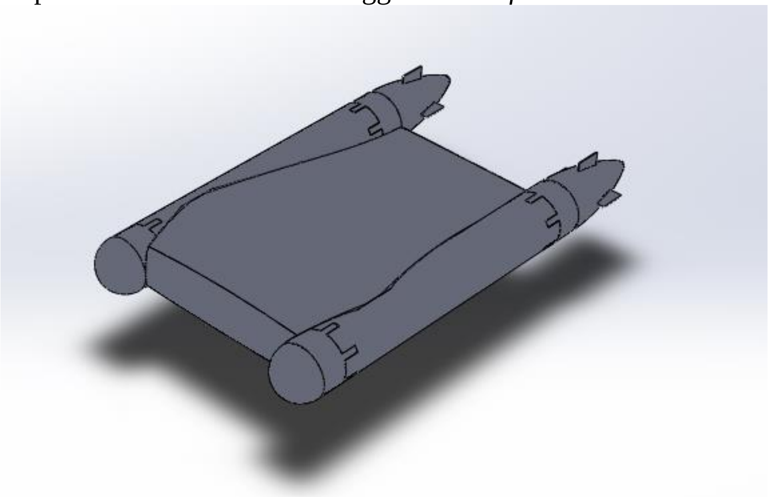
Pengamatan dilakukan pada bagian bridge AUV. Dilakukan analisa pada desain baru yang mempunyai perbedaan jarak *bridging* di setiap desainnya, dan dicari nilai terbaik dari 3 desain tersebut, yang nantinya akan dibandingkan nilai dari Fd. Kemudian dilakukan perhitungan *thrust* pada AUV berdasarkan nilai tahanan dari AUV. sehingga didapatkan penggerak utama yang mampu mendorong AUV bergerak dengan kecepatan operational speed sebesar 10 m/s. Setelah didapatkan penggerak utama makan dilakukan perhitungan optimasi yang bertujuan untuk memilih variable yang mana yang paling optimal didasarkan pada konsumsi baterai pada AUV.

4.1 *Drag Force/* Tahanan

Dalam proses pembuatan desain bodi AUV pertama-tama pembuatan desain bodi AUV menggunakan *Software* CAD .Setelah desain bodi selesai dibuat maka dilakukan proses anailsa aliran dan perhitungan *force* pada AUV. Setelah mendapatkan *drag force* kemudian dilakukan analisa pola aliran fluida untuk mendapatkan *contour pressure* dan velocity vector.

4.1.1 Desain Bodi AUV menggunakan Software CAD

Pada pembuatan desain baru menggunakan *software* CAD .



Gambar 4.1 *Isometric* AUV

Setelah dilakukan pemodelan maka didapatkan data yang ditunjukkan :

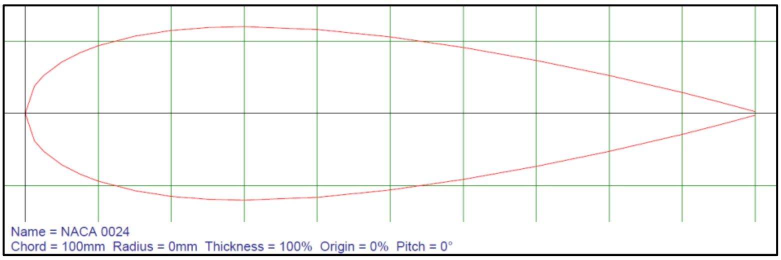
Tabel 4.1 Spesifikasi AUV

Platform	AUV	*Material*	ASTM A36 *Steel*
Hull type	Torpedo	*Depth Operation*	3-10 meter
Bridge Type	Air Foil	*Endurance*	30 menit
Size (LxWxH)	4.337m x 2.5m x 1m	*Operating Speed*	10 m/s
Hull Diameter	0.5 meter	*Max Speed*	12 m/s

4.1.2 Desain Bridge dan Letak Propulsi AUV

4.1.2.1 Desain Bridge

Dalam pembuatan model AUV menjadi solid, langsung dilakukan dari *Solidwork modeling*. Setelah bentuk menjadi solid dengan format *Solidwork*, maka selanjutnya model disimpan dalam bentuk format STP agar dapat digunakan di *software CFD*. Dalam pembuatan desain AUV dilakukan perubahan pada bagian bridge dengan menggunakan standart NACA 0024.



Gambar 4.2 Geometri NACA 0024

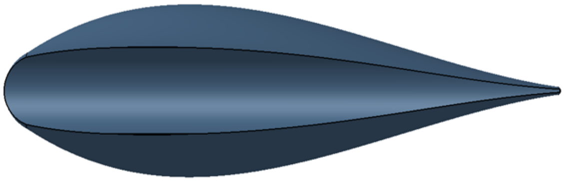
Tabel 4.2 Airfoil Geometri NACA 0024

Airfoil Surface			Chamber Line	
X(mm)	Y(mm)	-Y (mm)	X(mm)	Y(mm)
100	0.252	-0.252	100	0.252
95	1.613	-1.613	95	1.613
90	2.896	-2.896	90	2.896
80	5.247	-5.247	80	5.247
70	7.328	-7.328	70	7.328
60	9.127	-9.127	60	9.127
50	10.588	-10.588	50	10.588
40	11.607	-11.607	40	11.607
30	12.004	-12.004	30	12.004
25	11.883	-11.883	25	11.883
20	11.475	-11.475	20	11.475
15	10.691	-10.691	15	10.691
10	9.365	-9.365	10	9.365
7.5	8.4	-8.4	7.5	8.4
5	7.109	-7.109	5	7.109
2.5	5.229	-5.229	2.5	5.229
1.25	3.788	-3.788	1.25	3.788
0	0	0	0	0

Pemilihan bentuk bridge menggunakan NACA 0024 didasarkan pada bentuk geometri bagian atas dan bawah mempunyai nilai yang sama, diharapkan AUV tidak bermanuver ke atas pada saat bergerak. Dikarenakan perbedaan geometri NACA akan menyebabkan perbedaan pressure di bagian bawah dan atas benda.

Pemilihan juga didasarkan pada kebutuhan AUV, yang merupakan *multi purpose*, dengan adanya equipment UAV dan launcher yang berada di dalam AUV, sehingga membutuhkan ruang yang cukup besar, sehingga dipilih bentuk yang menggelembung.

Pemilihan juga menggunakan standart NACA 0042 juga diharapkan kan mengurangi tahanan yang didapatkan oleh AUV.

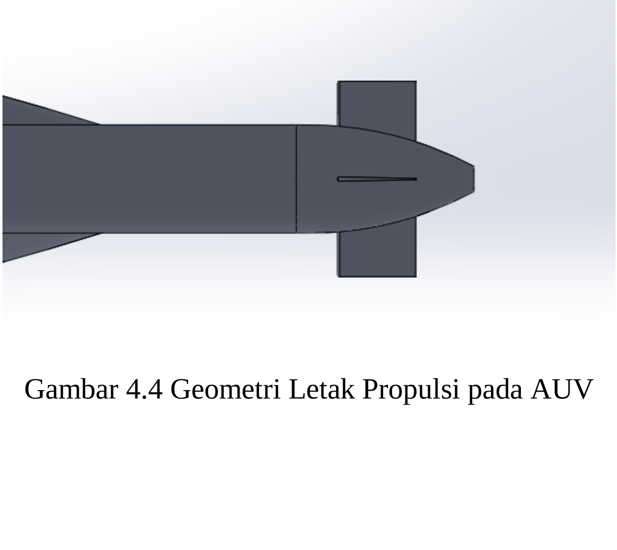


Gambar 4.3 Geometri Bridge AUV

Gambar di atas merupakan visualisasi NACA yang di visualisasikan menjadi *Bridge* dari AUV. Skala yang digunakan adalah perbesaran 4, 56 kali. Keterangan : NACA 0024 sepanjang 701.25 mm menjadi *Bridge* AUV sepanjang 3200 mm.

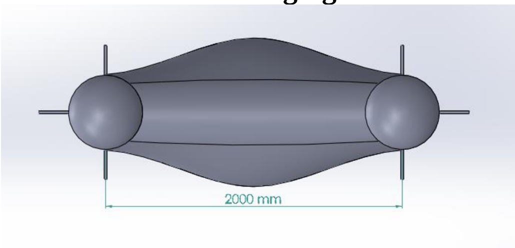
4.1.2.2 Desain Letak Propulsi AUV

Pembuatan desain dari letak propulsi pada AUV diletakkan pada bagian belakang dari buntut (*tail)* AUV. hal tersebut didasarkan pada bentuk dari beberapa referensi AUV atau ROV menggunakan 2 hull yang telah dicari oleh penulis. Propulsi dari AUV di buat dengan 2 buah didasarkan pada adanya spare pada saat emergency ketika salah satu dari penggerak tersebut tidak dapat beroperasi sesaui dengan fungsinya.



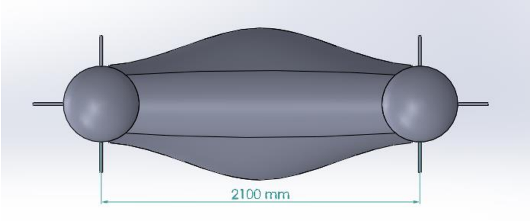
Gambar 4.4 Geometri Letak Propulsi pada AUV

4.1.3 Desain Perbedaan Jarak Bridging Pada AUV



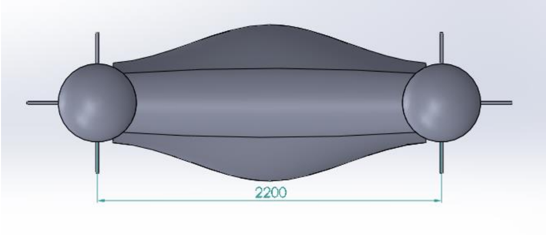
Gambar 4.5 Jarak Bridging AUV Variabel (ke-1)

Pada gambar AUV diatas didesain dengan jarak bridging sepanjang 2000 mm atau 2 meter dari titik tengah torpedo.



Gambar 4.6 Jarak Bridging AUV Variabel (ke-2)

Pada gambar AUV diatas didesain dengan jarak bridging sepanjang 2100 mm atau 2.1 meter dari titik tengah torpedo.

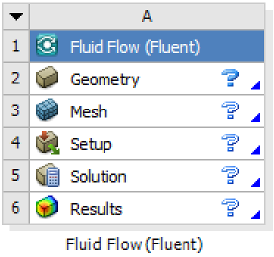


Gambar 4.7 Jarak Bridging AUV Variabel (ke-3)

Pada gambar AUV diatas didesain dengan jarak bridging sepanjang 2200 mm atau 2.2 meter dari titik tengah torpedo.

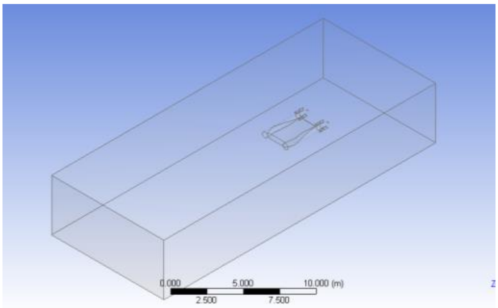
4.1.4 Simulasi Fluent Pada Software CFD

Pada aplikasi Software CFD dilakukan bebrapa tahapan, yaitu Input geometri, Meshing , Setup Condition, Solution dan Result.



Gambar 4.8 Step Simulasi Aliran Pada Software CFD

4.1.4.1. Input Geometri



Gambar 4.9 Input Geometri & Kondisi Batas

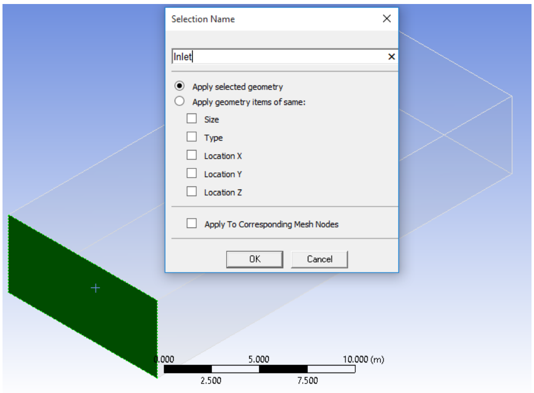
Pada tahap input Geometri dilakukan including desain dari Software CAD, kemudian di convert menjadi parasolid, dan dibuatlah kondisi batas pada Software CFD.

Details View

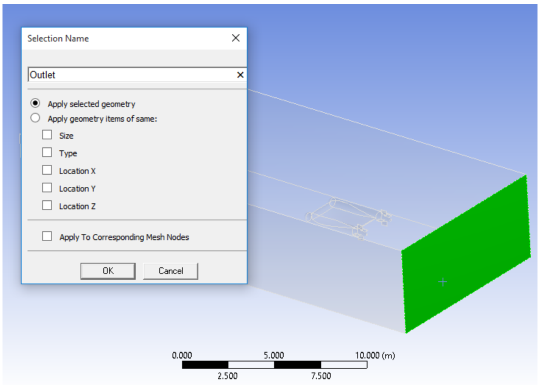
Details of Enclosure1	
Enclosure	Enclosure1
Shape	Box
Number of Planes	0
Cushion	Non-Uniform
FD1, Cushion +X value (>0)	4 m
FD2, Cushion +Y value (>0)	2 m
FD3, Cushion +Z value (>0)	16 m
FD4, Cushion -X value (>0)	4 m
FD5, Cushion -Y value (>0)	2 m
FD6, Cushion -Z value (>0)	6 m
Target Bodies	All Bodies
Export Enclosure	Yes

Gambar 4.10 Koordinat Kondisi Batas

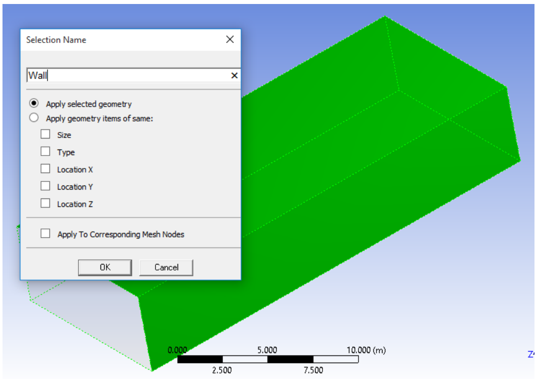
Pada tahap dibawah ini dilakukan pembuatan batas fungsi sebelum diakukan proses simulasi. Hal tersebut bertujuan untuk memberikan ruang dan arah dar aliran agar sesuai dengan arah yang di inginkan.



Gambar 4.11 Kondisi Batas Fungsi (*Inlet*)



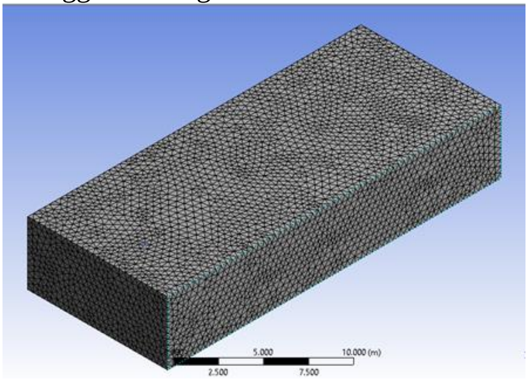
Gambar 4.12 Kondisi Batas Fungsi (*Outlet*)



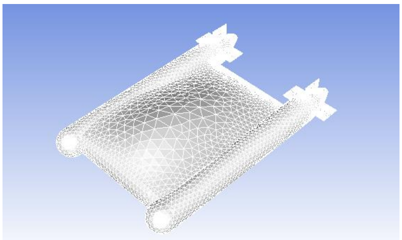
Gambar 4.13 Kondisi Batas Fungsi (*Wall*)

4.1.4.2. Meshing

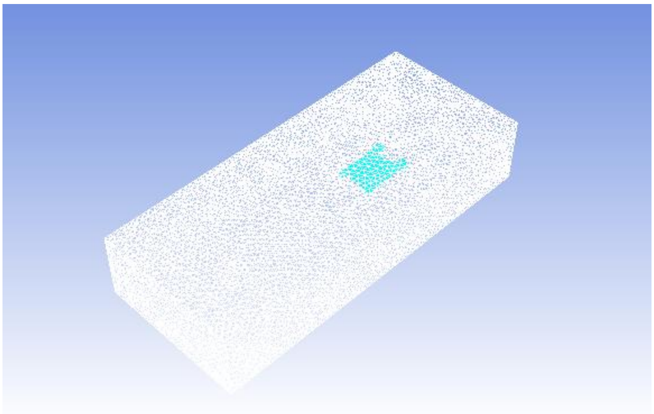
Pada tahap meshing dilakukan dengan fungsi *smoothing* dengan kapasitas *high*. Dengan spesifikasi tersebut diharapkan hasil dari simulasi yang dihasilkan bisa maksimal. Dan telah dilakukan meshing beberapa kali harapannya adalah mencari nilai konvergensi dari meshing sehingga meshing bisa dikatakan stabil.



Gambar 4.14 Meshing Pada *Boundary Condition*



Gambar 4.15 Meshing pada AUV (*highlight*)



Gambar 4.16 Meshing pada AUV & *Boundary Condition (highlight)*

Pada tahapan meshing seringkali terjadi error , hal itu bisa jadi karena salah dalam pembuatan geometri dan juga pemilihan bentuk meshing yang tidak tepat dengan bentuk dari benda.

Statistics	
Nodes	210104
Elements	1164730

Gambar 4.17 *Result of Meshing* AUV Variabel (ke-1)

Statistics	
Nodes	201067
Elements	1116637

Gambar 4.18 *Result of Meshing* AUV Variabel (ke-2)

Statistics	
Nodes	199696
Elements	1108378

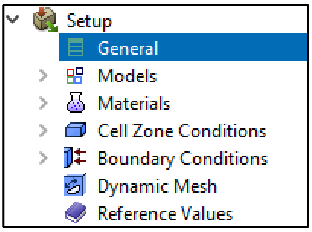
Gambar 4.19 *Result of Meshing* AUV Variabel (ke-3)

Pada gambar di atas menunjukkan jumlah nodes dan element setelah dilakukan meshing pada 3 desain AUV dengan jarak *bridging* yang berbeda.

Pada hasil meshing diatas didapatkan jumlah nodes dan elements yang linear, berbanding lurus dengan perubahan jarak bridging, apabila jarak bridging semakin panjang, maka jumlah nodes dan element semakin sedikit.

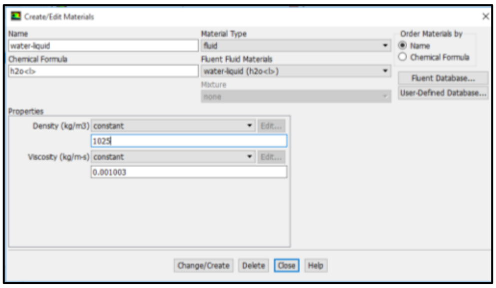
4.1.4.3. *Setup , Solution dan Result*

Pada tahap ini dilakukan pengaturan data sampai pada tahap mendapatkan bentuk hasil berupa *contour* aliran dan nilai dari *force* setiap axis.

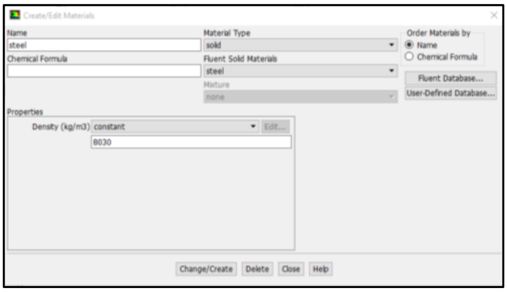


Gambar 4.20 Setup Data Simulasi

Dibawah ini adalah setup data material dari fluida yang akan dialirkan, dan setup material dari AUV. material fluida yang dipilih adalah air laut, dan material dari AUV adalah *steel*.

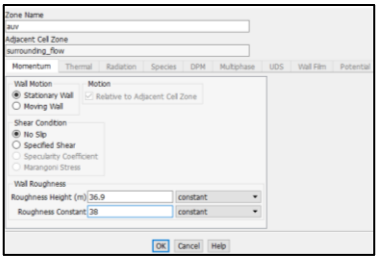


Gambar 4.21 Setup Material Fluida



Gambar 4.22 Setup Material AUV

Pada setup di bawah ini adalah mengatur kecepatan aliran dari fluida yang akan dialirkan ke AUV, hal tersebut di serupakan dengan kecepatan dari AUV saat beroperasi di operating speed.



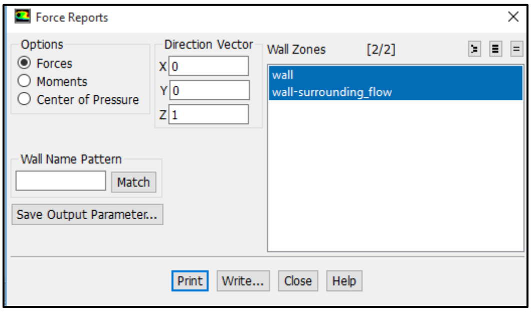
Gambar 4.23 *Setup Roughness*

Pada gperhitungan dibawah ini menunjukkan input pressure dari lingkungan AUV pada kedalaman 10 meter.

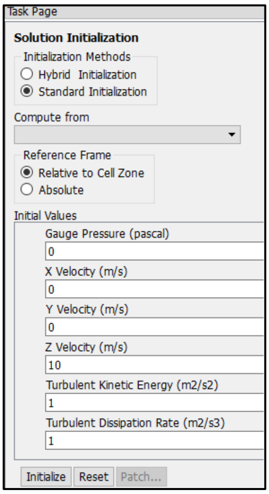
P = *P*.g. h + 1 atm

= 1025 kg / m^3 x 9.81 m/s x 10 m + (1 atm atau 101.325 Pa)

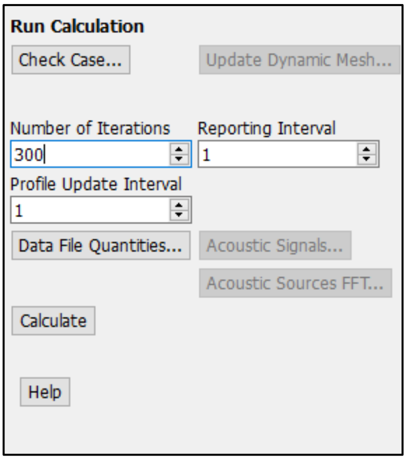
= 201.877,5 Pa



Gambar 4.24 *Setup axis simulation*



Gambar 4.25 *Solution Initialization*

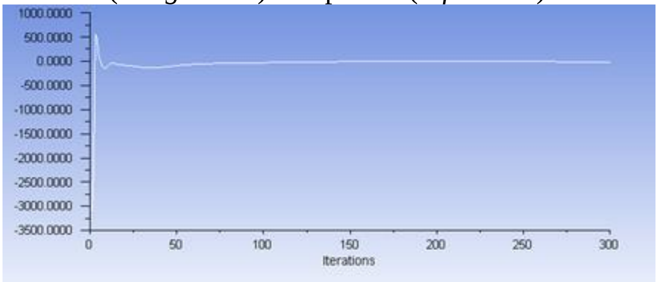


Gambar 4.26 *Run Calculation*

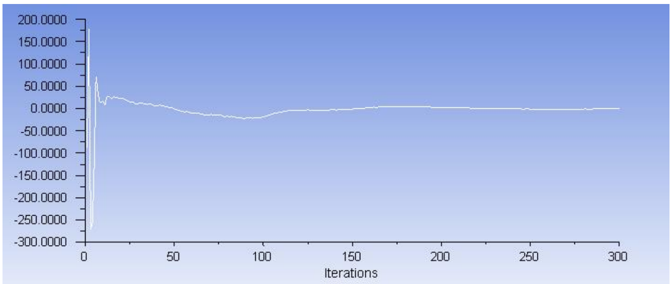
Pada gambar di atas menunjukkan beberapa parameter perlu di input sesuai data yang diperlukan pada untuk menyelesaikan proses simulasi, dan yang terakhir penampilan hasil dari proses running yang telah dilakukan berupa contour *pressure* dan *velocity* sekaligus nilai dari *force* di setiap axis.

4.1.4.4 Run dan Iterasi

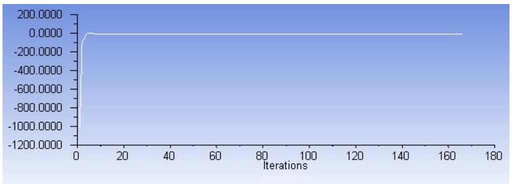
Pada tahap ini dilakukan proses Iterasi sebanyak nilai input 300 Iterasi untuk Fd (*Drag Force*) maupun Fl (*Lift Force*)



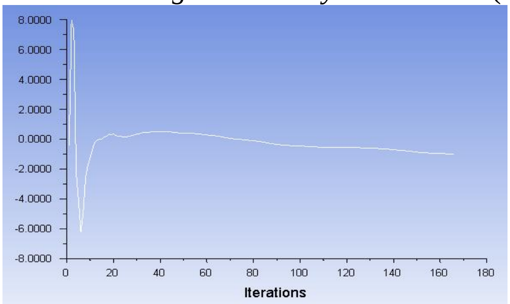
Gambar 4.27 *Covergence History Fd* Variabel (ke -1)



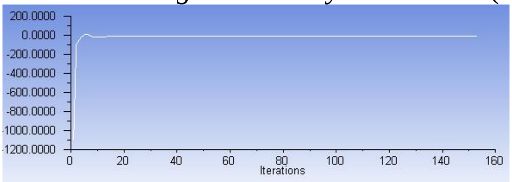
Gambar 4.28 *Covergence History Fl* Variabel (ke -1)



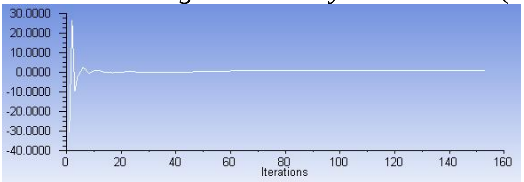
Gambar 4.29 *Covergence History Fd* Variabel (ke -2)



Gambar 4.30 *Covergence History Fl* Variabel (ke -2)



Gambar 4.31 *Covergence History Fd* Variabel (ke -3)



Gambar 4.32 *Covergence History Fl* Variabel (ke -3)

Pada gambar di atas menunjukkan bahwa konvergensi telah tercapai, dengan visualisasi garis sudah berbentuk lurus dan nilainya tidak berubah dengan waktu pada variable 1 selama 5:03:59 jam, variable 2 selama 5:13:57 jam dan variable 3 selama 3:24:19 jam.

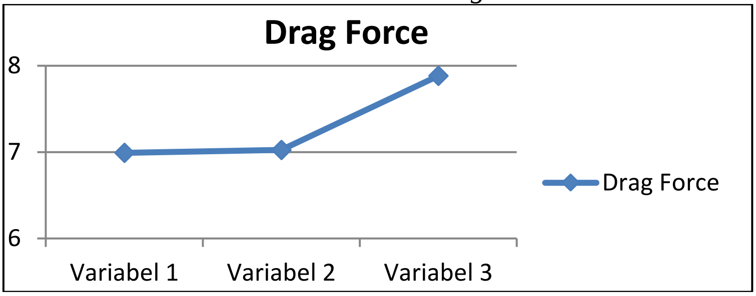
4.1.5 Hambatan AUV

Perhitungan hambatan AUV dilakukan menggunakan simulasi dengan melakukan running sumbu ordinat z. Dengan memasukkan indikator kemudian di lakukan simulasi sehingga didapatkan nilai force Z

Tabel 4.3 Hasil *Simulasi Drag Force*

Drag Force	
Variabel (ke 1)	6.991 N
Variabel (ke 2)	7.024 N
Variabel (ke 3)	7.882 N

Grafik 4.1 Hasil *Simulasi Drag Force*

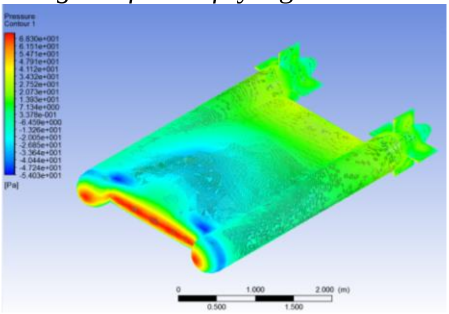


4.1.7 Analisa Hasil *Visual* Simulasi

Dari analisa yang telah dilakukan di atas , maka dipilihlah desain variable pertama karena mempunyai tahanan yang kecil untuk dilakukan analisa pada *visual* dari *contour pressure* dan *velocity* yang terjadi di AUV.

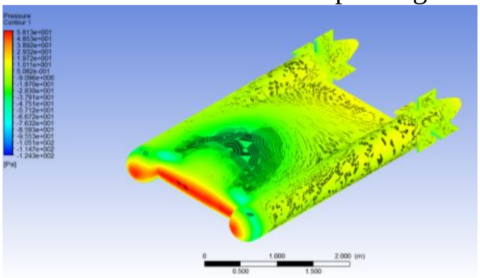
4.1.7.1 *Contour Pressure*

Pada kontur tekanan dilakukan perbandingan pada 3 desain yang baru digunakan untuk membandingkan hasil kontur tekanan sehingga didapatkan perbedaan nilai *force drag* dan *force lift* yang dihasilkan dari 3 desain AUV



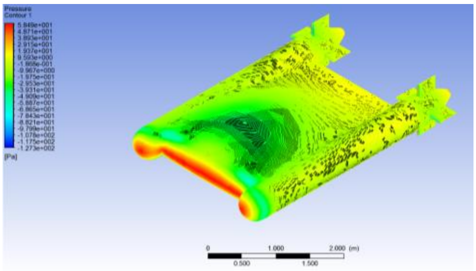
Gambar 4.33 *Contour Pressure* Variable ke-1 (*Isometri View)*

Pada hasil visualisasi dari AUV tampak isometric menunjukkan secara keseluruhan dengan average pressure max adalah 59.97 Pa dan minimal adalah -124,34 pa. dan didominasi warna biaru pada bgaian bridge.



Gambar 4.34 *Contour Pressure* Variable ke-2 (*Isometri View)*

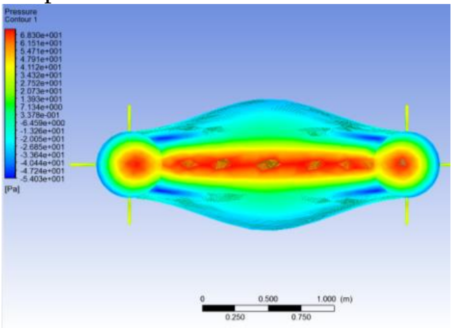
Pada hasil visualisasi dari AUV tampak isometric menunjukkan secara keseluruhan dengan average pressure max adalah 68.30 Pa dan minimal adalah -54,03 pa.



Gambar 4.35 *Contour Pressure* Variable ke-3 (*Isometri View)*

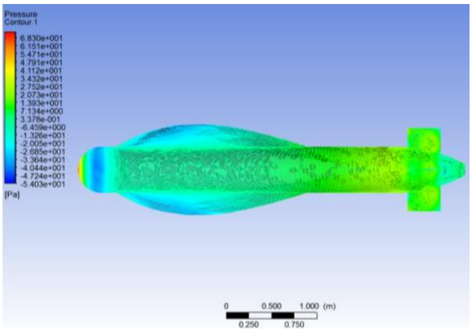
Pada hasil visualisasi dari AUV tampak isometri menunjukkan secara keseluruhan dengan *average pressure max* adalah 68.375 Pa dan minimal adalah -127,32 pa.

Detail Kontur *Pressure* pada variable desain ke 1



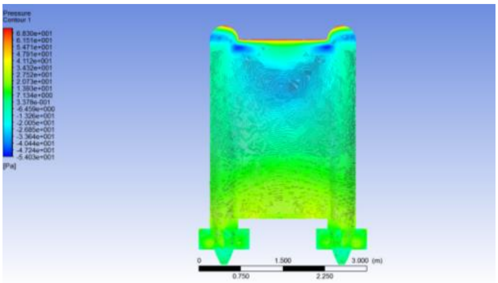
Gambar 4.36 *Contour Pressure* (*Front View* AUV)

Pada hasil visualisasi dari AUV tampak depan adalah menampilkan hasil pressure yang besar terletak pada bagian yang perama kali tersentuh oleh air ketika AUV bergerak kearah surge. Dan mulai merambat ke bagian samping menjadi warna orange , kuning, hijau dan biru pada bagian perubahan bentuk hull ke bridge.



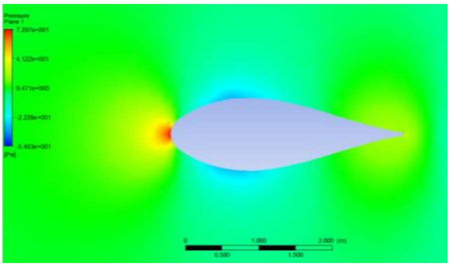
Gambar 4.37 *Contour Pressure* (*Side Vi*ew AUV)

Pada posisi *side view contour pressure* menunjukkan perubahan warna yang cukup berbeda, pada bagian ujuang depan atau noses dari torpedo terjadi penurunan *pressure*, sampai pada penurunan garis *bridge* meningkat lagi di visualisasikan berupa warna hijau sampai pada fin .



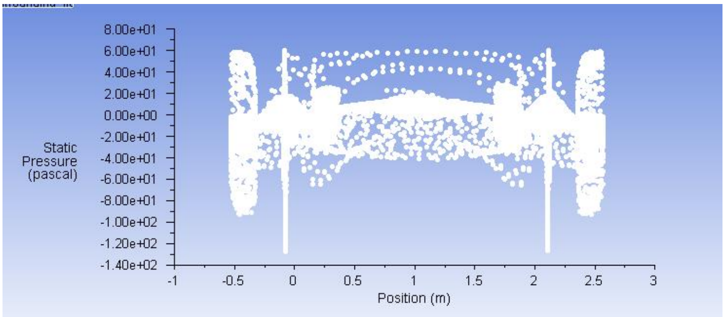
Gambar 4.38 *Contour Pressure* (*Top View* AUV)

Pada top view, contour pressure menunjukkan warna yang paling mencolok adalah pada pertemuan antara sambungan dari torpedo dan bridge dari AUV. dan kemudian terus meningkat sampi pada fin dari AUV, kemudia terjadi penurunan contour pressure di bagian belakang fin berupa warna biru muda.

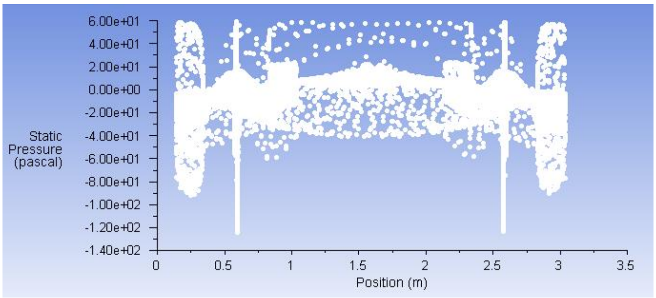


Gambar 4.39 *Contour Pressure* pada *cut plane* tengah *bridge*

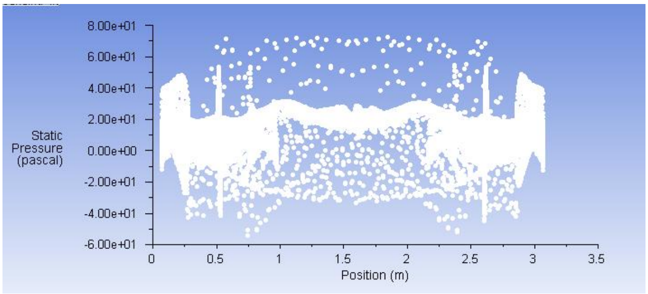
Pada *side view* melalui *cut plane* yang diletakkan pada tengah *bridge,* didapatkan hasil pressure pada depan bridge berwarna merah dan pada bagian tengah berwarna biru dan bagian belakang berwarna hijau, dari warna tersebut menandakan adanya perubahan tekanan sesuai dengan warna yang ditampilkan.



Gambar 4.40 *Static Pressure* pada AUV Variable 1



Gambar 4.41 *Static Pressure* pada AUV Variable 2

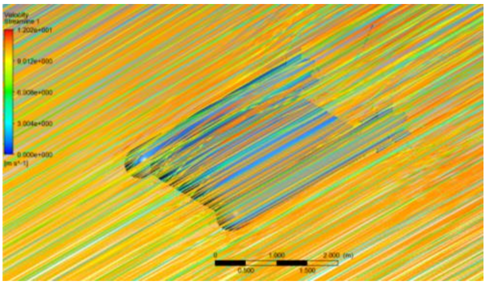


Gambar 4.42 *Static Pressure* pada AUV Variable 3

Sebagai bentuk validasi pada setiap variable adalah menggunakan static pressure yang terjadi disetiap titik pada AUV.hal tersebut bias terlihat secara visual antara variable 1 dan variable 2 mempunyai visual yang sedikit sama jika dibandingkan dengan variable yang ketiga, oleh karena itu hasil tahanan atau *drag force* yang dihasilkan juga mirip. Dan pada variable 1 dan 2 mempunyai nilai *maximal static pressure* yang juga hampir sama yaitu 6 pascal dan variable ketiga 8 pascal.

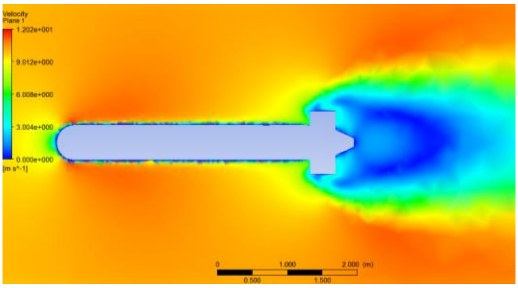
4.1.7.2 *Contour Velocity*

Pada kontur kecepatan akan didapatkan warna yang menunjukkan nilai kecepatan pada surface dari AUV.



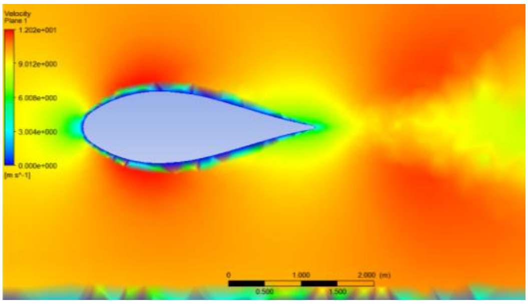
Gambar 4.43 *Contour Velocity* (*Isometri View*)

Pada gambar diatas menunjukkan *contour velocity* didapatkan nilai *minimum velocity* adalah 10 m/s dan *maximal velocity* sebesar 12.016 m/s.



Gambar 4.44 *Contour Velocity* pada *cut plane* tengah torpedo

Pada gambar diatas menunjukkan *contour velocity* pada bagian torpedo dengan menggunakan *cut plane* pada bagian tengah torpedo dari AUV, pada tampilan tersebut menunjukaan kecepatan terbesar adalah terletak pada daerah depan auv di bagian nose yang berhimpit dengan torpedo dari AUV itu sendiri. Dan pada bagian belakang AUV mendapatkan kecepatan yang rendah divisualisasikan dengan warna biru.



Gambar 4.45 *Contour Velocity* pada *cut plane* tengah bridge

Pada gambar diatas menunjukkan *contour velocity* pada bagian bridge dengan menggunakan cut plane pada bagian tengah bridge dari AUV, pada tampilan tersebut menunjukaan kecepatan terbesar adalah terletak pada daerah depan punggung atas dan bawah dari bridge AUV, hal tersebut menandakan adanya kenaikan kecepatan dengan perubahan bentuk dari bridge itu sendiri. Dilanjutkan dengan perubahan warna orange manjadi hijau menandakan penurunan kecepatan pada bridge AUV.

4.2 Analisa Perhitungan *Thrust* Pada Setiap Variable AUV

Untuk mengetahui seberapa besar penggerak utama maka dibutuhkan perhitungan *thrust* yang didasarkan pada nilai resistance. Sehingga akan didapatkan nilai *thrust* yang harus dipenuhi oleh AUV di setiap variablenya untuk bergerak dikecepatan 10 m/s.

Menggunakan persamaan : *Thrust* = Rt x Vs

Persamaan tersebut digunakan berdasarkan perhitungan dilakukan pada *mono fluid* yaitu air.

4.2.1 Perhitungan *thrust* AUV

Tabel 4.4 Tahanan AUV setiap variable

Drag Force atau Tahanan		
Variable 1	Variable 2	Variable 3
6.991 N	7.024 N	7.882 N
0.06991 KN	0.07024 KN	0.07882 KN

Variable 1 = Rt x Vs
= 0.06991 KN x 10 m/s
= 0.6991 HP

Variable 2 = Rt x Vs
= 0.07024 KN x 10 m/s
= 0.7024 HP

Variable 3 = Rt x Vs
= 0.07882 KN x 10 m/s
= 0.7882 HP

Tabel 4.5 *Thrust* AUV

Hasil Perhitungan *Thrust* 1 Penggerak		
Variable 1	Variable 2	Variable 3
0.6991 HP	0.7024 HP	0.7882 HP
521.31 N.m/s	523.77 N.m/s	583.28 N.m/s
Hasil Perhitungan *Thrust* 2 Penggerak		
Variable 1	Variable 2	Variable 3
0.3495 HP	0.3512 HP	0.3941 HP
260.65 N.m/s	261.88 N.m/s	291.64 N.m/s
192.22 lbf	193.16 lbf	216.75 lbf

1 HP = 745.6 N. m/s
1 N m.s = 0.737 lbf

Dikarenakan pada desain AUV kali ini penggerak utamanya adalah 2, maka akan dibagi nilai perhitungan thrust menjadi 2 agar AUV mampu beroperasi 10 m/s.

4.2.2 Pemilihan penggerak utama AUV

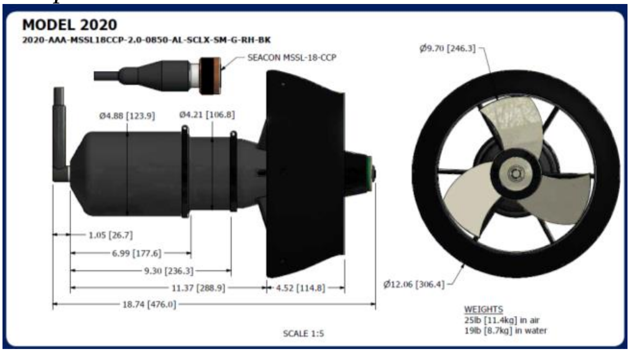
Pemilihan penggerak utama didasarkan pada nilai thrust yang dihasilkan dari perhitungan di atas.

Bollard Output	**Input**	**Weight**	**Depth Rating**
250lbf (116kgf) forward, 160lbf (73kgf) reverse, w/ either RH or LH stainless steel propellers.	5.5kw at 48vdc, 70vdc, 150vdc, 260vdc or 330vdc, +/-5v analog speed control or RS485 speed control.	22.5-32lbs (10.2-14.5kg) in air, 17-24lbs (7.7-11kg) in water, depending on configuration.	2,800ft (850m) standard with 1 atm housings, full ocean depth when pressure balanced oil filled. (specifications subject to change without notice)

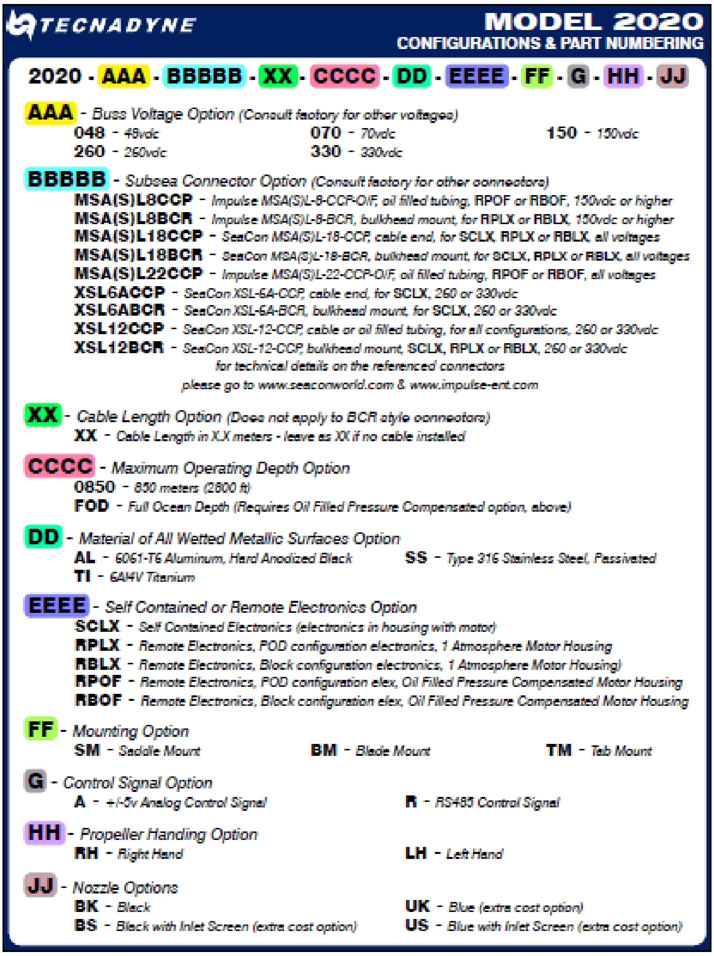
Gambar 4.46 Spesifikasi Umum *Thruster*

Pada pemilihan thruster ditentukan berdasarkan kebutuhkan hrust yang harus di penuhi oleh AUV sehingga mampu berjalan pada kecepatan *service*

atau *operational speed*.



Gambar 4.47 Dimensi*Thruster*



TECNADYNE

MODEL 2020
CONFIGURATIONS & PART NUMBERING

2020 - AAA - BBBBB - XX - CCCC - DD - EEEE - FF - G - HH - JJ

AAA - *Buss Voltage Option (Consult factory for other voltages)*
048 - *48vdc* **070** - *70vdc* **150** - *150vdc*
260 - *260vdc* **330** - *330vdc*

BBBBB - *Subsea Connector Option (Consult factory for other connectors)*
MSA(S)L8CCP - *Impulse MSA(S)L-8-CCP-O/F, oil filled tubing, RPOF or RBOF, 150vdc or higher*
MSA(S)L8BCR - *Impulse MSA(S)L-8-BCR, bulkhead mount, for RPLX or RBLX, 150vdc or higher*
MSA(S)L18CCP - *SeaCon MSA(S)L-18-CCP, cable end, for SCLX, RPLX or RBLX, all voltages*
MSA(S)L18BCR - *SeaCon MSA(S)L-18-BCR, bulkhead mount, for SCLX, RPLX or RBLX, all voltages*
MSA(S)L22CCP - *Impulse MSA(S)L-22-CCP-O/F, oil filled tubing, RPOF or RBOF, all voltages*
XSL6ACCP - *SeaCon XSL-6A-CCP, cable end, for SCLX, 260 or 330vdc*
XSL6ABCR - *SeaCon XSL-6A-BCR, bulkhead mount, for SCLX, 260 or 330vdc*
XSL12CCP - *SeaCon XSL-12-CCP, cable or oil filled tubing, for all configurations, 260 or 330vdc*
XSL12BCR - *SeaCon XSL-12-CCP, bulkhead mount, SCLX, RPLX or RBLX, 260 or 330vdc*
for technical details on the referenced connectors
please go to www.seaconworld.com & www.impulse-ent.com

XX - *Cable Length Option (Does not apply to BCR style connectors)*
XX - *Cable Length in X.X meters - leave as XX if no cable installed*

CCCC - *Maximum Operating Depth Option*
0850 - *850 meters (2800 ft)*
FOD - *Full Ocean Depth (Requires Oil Filled Pressure Compensated option, above)*

DD - *Material of All Wetted Metallic Surfaces Option*
AL - *6061-T6 Aluminum, Hard Anodized Black* **SS** - *Type 316 Stainless Steel, Passivated*
TI - *6Al4V Titanium*

EEEE - *Self Contained or Remote Electronics Option*
SCLX - *Self Contained Electronics (electronics in housing with motor)*
RPLX - *Remote Electronics, POD configuration electronics, 1 Atmosphere Motor Housing*
RBLX - *Remote Electronics, Block configuration electronics, 1 Atmosphere Motor Housing)*
RPOF - *Remote Electronics, POD configuration elex, Oil Filled Pressure Compensated Motor Housing*
RBOF - *Remote Electronics, Block configuration elex, Oil Filled Pressure Compensated Motor Housing*

FF - *Mounting Option*
SM - *Saddle Mount* **BM** - *Blade Mount* **TM** - *Tab Mount*

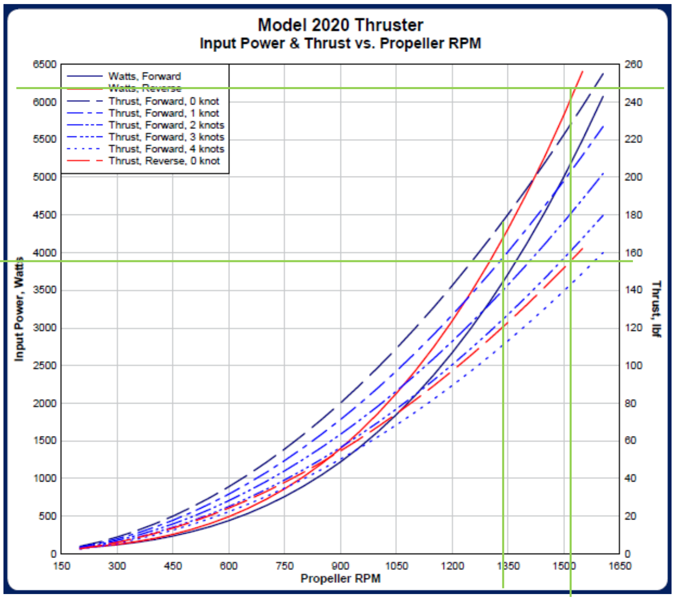
G - *Control Signal Option*
A - *+/-5v Analog Control Signal* **R** - *RS485 Control Signal*

HH - *Propeller Handing Option*
RH - *Right Hand* **LH** - *Left Hand*

JJ - *Nozzle Options*
BK - *Black* **UK** - *Blue (extra cost option)*
BS - *Black with Inlet Screen (extra cost option)* **US** - *Blue with Inlet Screen (extra cost option)*

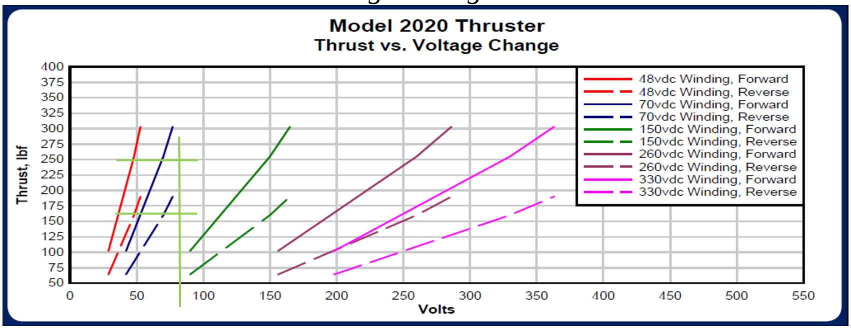
Gambar 4.48 Identitas *Thruster*

Grafik 4.2 *Input Power* & *Thrust* vs. Proppeler RPM



Pada grafik diatas apabila menggunakan nilai *thrust* sebesar 250 lbf maka akan didapatkan putaran propeller sebesar 1620 rpm dan *input power* sebesar 6.3 kw pada saat kondisi AUV berjalan maju atau pada posisi putaran propeller *forward*, dan sebaliknya apabila propeller diputar ke arah sebaliknya menggunakan nilai *thrust* sebesar 160 lbf maka akan didapatkan putaran propeller sebesar 1310 rpm dan *input power* 4 kw.

Grafik 4.3 *Thrust vs. Voltage Change*



Pada grafik diatas apabila menggunakan nilai *thrust* sebesar 250 lbf pada saat putaran propeller *forward* maka akan didapatkan nilai *voltage* sebesar 48 volts dan begitu pula ketika putaran propeller dibalik,dengan nilai *thrust* sebsar 160 lbf akan didapatkan nilai *voltage* 48 volts.

4.2.3 Perhitungan Optimasi Pada Setiap Variable Desain AUV

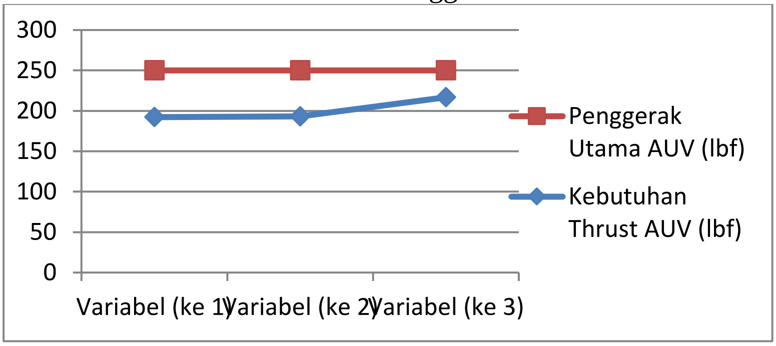
Perhitungan optimasi ditujukan untuk mencari desain dengan efisiensi terbaik dari 3 desain yang telah disimulasi. Dari nilai tahanan yang dihasilkan dan telah diitung nilai thrust di setiap desainnya, dan akan dilakukan

perbandingkan terhadap thrust dari penggerak AUV kemudian dibandingkan lagi dengan jumlah baterai yang akan dikonsumsi oleh AUV. sehingga akan didapatkan desain yang paling efisien.

Tabel 4.6 Perbandingan nilai tahanan, *thrust* kebutuhan AUV dan *thrust* penggerak utama AUV

	Tahanan AUV	Nilai *Thrust* AUV (Kebutuhan)	Nilai *Thrust* dari Penggerak AUV
Variabel (ke 1)	0.06991 KN	192.22 lbf	250 lbf (forward)
Variabel (ke 2)	0.07024 KN	193.16 lbf	
Variabel (ke 3)	0.07882 KN	216.75 lbf	

Grafik 4.4 *Thrust* Kebutuhan AUV vs. Penggerak Utama AUV



Dari grafik diatas akan dipilih antara analisa tentang konsumsi baterai AUV dalam waktu 60 menit dengan perbandingan thrust dari penggerak utama AUV. dan life time dari penggerak utama AUV itu sendiri. Dalam bidang peralatan tentara pada dasarnya AUV adalah bersifat monitoring maka pada kasus kali ini lebih cocok digunakan sebagai tumbal yang pada prinsipnya akan digunakan sekali pakai. Life time penggerak utama tidak di perlukan ketika kondisi tersebut hanya beberapa kali pakai. Apabila persyaratan performance sudah terpenuhi.

Dari penjelasan tersebut pada penelitian kali ini akan lebih difokuskan pada pembahasan penggunaan baterai dari AUV.

Tabel 4.7 *Thrust* Kebutuhan AUV vs. *Power Consumption*

	Thrust Kebutuhan AUV	Power Consumption
Variabel (ke 1)	192.22 lbf	4.78 kw
Variabel (ke 2)	193.16 lbf	4.80 kw
Variabel (ke 3)	216.75 lbf	5.4 kw

Dari table di atas akan menunjukkan apabila kebutuhan thrust AUV menigkat maka konsumsi daya baterai juga akan meningkat. Dari data tersebut didapatkan efisiensi dalam konteks konsumsi baterai adalah desain variable 1.

Perhitungan AH Required dan Jumlah Baterai Penggerak AUV

Setelah didapatkan desain yang paling efisien maka akan dilakukan perhitungan jumlah baterai pada AUV berpatokan pada penggerak utama AUV.

Baterai Power : P Total x T Total
: 4280 watt x 1 jam
: 4280 Watt

Voltage Input : 48 Vdc

AH Required : $\frac{\text{Total Baterai Power}}{\text{Voltage}}$ (Watt) / (Voltage)

: $\frac{4280 \text{ watt}}{48 \text{ V}}$

: 89.166 AH (1 Penggerak)

: 178.333 AH (2 Penggerak)

Pada penentuan jumlah baterai akan dihitung menggunakan peembagian antara AH required dan AH yang dimiliki baterai. Sehingga akan dimunculkan suatu nilai total kebutuhan baterai untuk pengerak AUV selama 1 jam.

Opsi Baterai 1

Merk : Ingpar
Jenis : Litium Ion
Tegangan Nominal : 48 V
Kapasitas : 100 AH
Berat : 8 kg
Dimensi : 34 x 23 x 9 (cm)

Berdasarkan AH required maka jumlah baterai yang dibutuhkan dan *load factor* dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

Jumlah baterai : $\frac{\text{AH Required}}{\text{Kapasitas}}$
: $\frac{178.333 \text{ AH}}{100 \text{ AH}}$
: 1.7833
: 2 Unit Baterai

Load Factor : $\frac{\text{AH Required}}{\text{AH Baterai x Jumlah Baterai}}$
: $\frac{178.333}{100 \times 2}$
: 0.891

Opsi Baterai 2

Merk : Matrix
Jenis : Litium Ion
Tegangan Nominal : 48 V
Kapasitas : 17.5 AH
Berat : 4 kg
Dimensi : 36.2 x 11.5 x 9 (cm)

Berdasarkan AH required maka jumlah baterai yang dibutuhkan dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

Jumlah baterai : $\frac{\text{AH Required}}{\text{Kapasitas}}$

: $\frac{178.333 \text{ AH}}{17.5 \text{ AH}}$

: 10.190

: 12 Unit Baterai

Load Factor : $\frac{\text{AH Required}}{\text{AH Baterai x Jumlah Baterai}}$

: $\frac{178.333}{17.5 \times 12}$

: 0.849

Opsi Baterai 3

Merk : UPP Baterai Litium
Jenis : Litium Ion
Tegangan Nominal : 48 V
Kapasitas : 20 AH
Berat : 7.3 kg
Dimensi : 47.5 x 19 x 17.5 (cm)

Berdasarkan AH required maka jumlah baterai yang dibutuhkan dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

Jumlah baterai : $\frac{\text{AH Required}}{\text{Kapasitas}}$

: $\frac{178.333 \text{ AH}}{20 \text{ AH}}$

: 8.91665

: 11 Unit Baterai

Load Factor : $\frac{\text{AH Required}}{\text{AH Baterai x Jumlah Baterai}}$

: $\frac{178.333}{20 \times 11}$

: 0.810

Tabel 4.8 Tabel Komparasi Pemilihan Baterai

No.	Brand	Volt	AH	Tottal Unit	Load Factor
1	Ingpar	48	100	2	0.891
2	Matrix	48	17.5	12	0.849
3	UPP Baterai	48	20	11	0.810

Pemilihan baterai didasarkan pada load factor yang berada di antara 65% - 86%. Dari tabel komparasi tersebut didapatkan baterai dengan load factor 0.849 berjumlah 12 baterai dengan kapasitas 17.5 AH.

4.3 Perhitungan Kebutuhan Listrik Pada AUV

Untuk menentukan kebutuhan total listrik yang akan beroprasi selama 1 jam, maka dibutuhkan list seluruh peralatan yang membutuhkan supplai listrik. Dari langkah sebelumnya yang kemudian mendapatkan sebuah spesifikasi penggerak utama AUV yang kemudian akan dilanjutkan perhitungan total kebutuhan daya yang dibutuhkan AUV .

Tabel 4.9 List Peralatan Elektronik AUV

No	Komponen	Daya (Watt)
1	Mikrokontroller Arduino Due	2.64
2	Sensor Tekanan MPX2100DP	0.06
3	Ublox NEO-6M GPS Module	0.036
4	Sensor Gyro Accelero CMPS11	1.75
5	Sensor Berat Load Cell HX711	1.65
6	LCD Water Resistant Fish Finder Ultrasonic Sonar Sensor Echo Sounder	6
7	Xiaomi YI Action Camera + Waterproof Case	2.5
8	Motor Servo Savox SC-1267SG 1267 “Super Speed”	16
9	LM2596 DC-DC Step Down Voltage Regulator	9.9
10	Driver Servo PCA9685	2
11	Baterai	-
12	ESC TURNIGY PLUSH 40AMP SPEED CONTROLLER	30
13	Easycap series 30	6
14	Pump DYB-40D DC	155
15	Thruster (Main Prime Moving)	4280 x 2
TOTAL		8793.536

Dari semua konsumsi baterai akan dihitung kebutuhan total baterai dari AUV.

Baterai Power : P Total x T Total
: 8793.536 watt x 1 jam
: 8793.536 Watt

Voltage : 48 Vdc

AH Required : $\frac{\text{Total Baterai Power}}{\text{Voltage}}$ (Watt) (Voltage)

: $\frac{8793.536 \text{ watt}}{48 \text{ V}}$

: 183.198 AH

Untuk mengitung kebutuhan total dari AUV, maka akan dilakukan langkah seperti langkah menghitung kebutuhan baterai pada penggerak AUV.

Opsi Baterai 1

Merk	: Ingpar
Jenis	: Litium Ion
Tegangan Nominal	: 48 V
Kapasitas	: 100 AH
Berat	: 8 kg
Dimensi	: 34 x 23 x 9 (cm)

Berdasarkan AH required maka jumlah baterai yang dibutuhkan dan *load factor* dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

Jumlah baterai : $\frac{\text{AH Required}}{\text{Kapasitas}}$

: $\frac{183.198 \text{ AH}}{100 \text{ AH}}$

: 1.831

: 2 Unit Baterai

Load Factor : $\frac{\text{AH Required}}{\text{AH Baterai x Jumlah Baterai}}$

: $\frac{183.198}{100 \text{ x } 2}$

: 0.915

Opsi Baterai 2

Merk	: Matrix
Jenis	: Litium Ion
Tegangan Nominal	: 48 V
Kapasitas	: 17.5 AH
Berat	: 4 kg
Dimensi	: 36.2 x 11.5 x 9 (cm)

Berdasarkan AH required maka jumlah baterai yang dibutuhkan dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

Jumlah baterai : $\frac{\text{AH Required}}{\text{Kapasitas}}$

: $\frac{183.198 \text{ AH}}{17.5 \text{ AH}}$

: 10.468

: 13 Unit Baterai

Load Factor : $\frac{\text{AH Required}}{\text{AH Baterai x Jumlah Baterai}}$

: $\frac{183.198}{17.5 \times 13}$

: 0.805

Opsi Baterai 3

Merk : UPP Baterai Litium
Jenis : Litium Ion
Tegangan Nominal : 48 V
Kapasitas : 20 AH
Berat : 7.3 kg
Dimensi : 47.5 x 19 x 17.5 (cm)

Berdasarkan AH required maka jumlah baterai yang dibutuhkan dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

Jumlah baterai : $\frac{\text{AH Required}}{\text{Kapasitas}}$

: $\frac{183.198 \text{ AH}}{20 \text{ AH}}$

: 9.159

: 11 Unit Baterai

Load Factor : $\frac{\text{AH Required}}{\text{AH Baterai x Jumlah Baterai}}$

: $\frac{183.198}{20 \times 11}$

: 0.8327

Tabel 4.10 Tabel Komparasi Pemilihan Baterai

No.	Brand	Volt	AH	Tottal Unit	Load Factor
1	Ingpar	48	100	2	0.915
2	Matrix	48	17.5	13	0.805
3	UPP Baterai	48	20	11	0.8327

Pemilihan baterai didasarkan pada load factor yang berada di antara 65% - 86%. Dari tabel komparasi tersebut didapatkan baterai dengan load factor 0.8327 berjumlah 11 baterai dengan kapasitas 20 AH.

4.4 Perhitungan Kebutuhan Ballast AUV

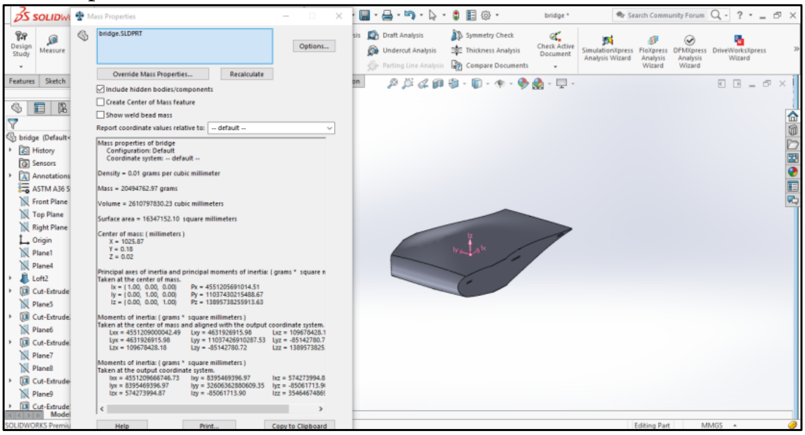
Langkah yang dilakukan pada perhitungan kebutuhan ballast adalah dengan menghitung volme total displacement AUV dikurangkan dengan total berat kontruksi AUV dan kontruksi ballast serta perlatan yang ada di dalam AUV. dengan bantuan aplikasi solidwork pada mass properties.

4.4.1 Perhitungan Total Volume Displacement AUV

Tabel 4.11 Perhitungan Volume AUV

Nama	Volume (mm^3)	Volume (m^3)
AUV	**3347461746**	**3.348**

Dari hasil perhitungan mass properties pada AUV didapatkann total volume displacement AUV adalah sebesar 3.348 m^3



Gambar 4.49 Mass Properties Bridge Pada AUV

4.4.2 Perhitungan Total Berat AUV

Total berat AUV meliputi berat kontruksi AUV, berat kontruksi ballast dan berat komponen lainnya menggunakan fitur mass properties yang ada di Solidwork.

Tabel 4.12 Perhitungan Massa Kontruksi AUV

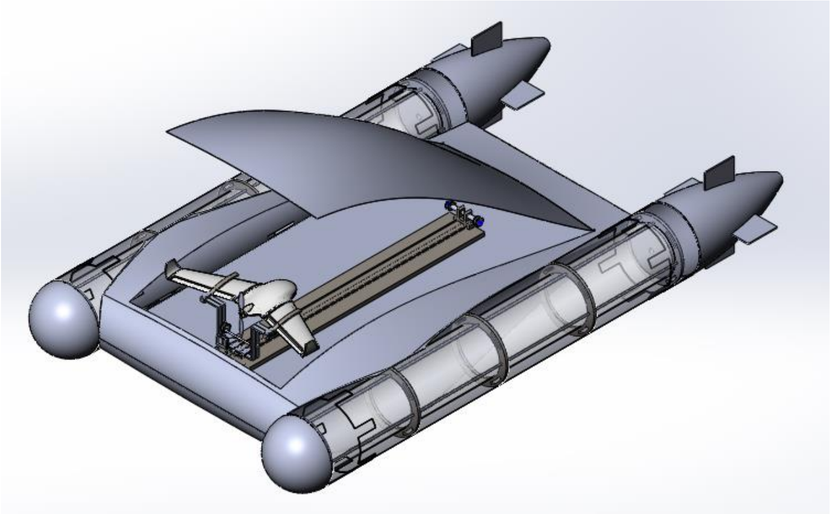
No	NAMA BAGIAN	BAHAN	JUMLAH PART	MASSA (Kg)	TOTAL MASSA (Kg)
1	Nose	ASTM A36 Steel	2	34.783	69.566
2	Body	ASTM A36 Steel	2	204.192	408.384
3	Atap Bridge / Atap Hull	E-Fiber Glass	1	20.414	20.414
4	Bridge/ Hull	ASTM A36 Steel	1	204.592	204.592
5	Penampang Join	ASTM A36 Steel	5	17.025	85.125
6	Baut Join	S20C	20	0.010	0.2
6	Mur Join	S20C	20	0.009	0.18
7	Poros Fin	ASTM A36	4	0.184	0.736

		Steel			
9	Fin	E-Fiber Glass	8	2.054	16.432
10	Tail	ASTM A36 Steel	2	85.620	171.24
11	Penampang papan	ASTM A36 Steel	1	181.275	181.275
12	Papan	Balsa	1	2.558	2.558
13	Join Body	ASTM A36 Steel	2	163.563	327.126
14	UAV	E-Fiber Glass	1	5	5
14	Launcher	ASTM A36 Steel	1	200	200
TOTAL			**70**	**1121.279**	**1692.828**

Dari hasil perhitungan mass properties pada AUV table di atas didapatkan total massa kontruksi AUV adalah sebesar 1692.828 kg atau 1, 69 Ton. Untuk massa terbesar dari kontruksi adalah didapatkan dari body aUV yang berbentuk torpedo sebesar 408,384 kg atau sebesar 0.408 Ton. Dan untuk kontruksi ballast AUV didapatkan nilai massa total dari kontruksi ballast sebesar 198.368 kg, atau sebsar 0.198 Ton bisa dilihat pada tabel berikut di bawah ini.

Tabel 4.13 Perhitungan Massa Kontruksi Ballast AUV

No	NAMA BAGIAN	BAHAN	JUMLAH PART	MASSA (Kg)	TOTAL MASSA (Kg)
1	Mur Ballast	S20C	8	0.009	0.072
2	Selubung Ballast	ASTM A36 Steel	40	0.504	20.16
3	Baut Ballast	S20C	8	2.752	22.016
4	Rangka Ballast	ASTM A36 Steel	8	10.070	80.56
5	Tutup Ballast	NYLON 101	4	6.229	24.916
6	Tabung Ballast	ACRYLIC	2	20.640	41.28
7	Sekat Ballast hole	NYLON 101	4	2.341	9.364
TOTAL			**61**	**42.545**	**198.368**



Gambar 4.50 Kontruksi AUV, Kontruksi Ballast, dan UAV, Launcher

Tabel 4.14 Perhitungan Massa Peralatan Electrical AUV

No	Komponen	Massa (kg)	Total Massa (Kg)
1	Mikrokontroller Arduino Due	0.036	0.036
2	Sensor Tekanan MPX2100DP	0.100	0.100
3	Ublox NEO-6M GPS Module	0.012	0.012
4	Sensor Gyro Accelero CMPS11	0.010	0.010
5	Sensor Berat Load Cell HX711	0.020	0.020
6	LCD Water Resistant Fish Finder Ultrasonic Sonar Sensor Echo Sounder	0.072	0.072
7	Xiaomi YI Action Camera + Waterproof Case	0.003	0.003
8	Motor Servo Savox SC-1267SG 1267 “Super Speed”	0.080 x 2	0.160
9	LM2596 DC-DC Step Down Voltage Regulator	0.030	0.030
10	Driver Servo PCA9685	0.050	0.050
11	Baterai	7.3 x 11	80.3
12	ESC TURNIGY PLUSH 40AMP SPEED CONTROLLER	0.033	0.066
13	Easycap	0.200	0.400
14	Pump DYB-40D DC	4 x 4	16
15	Thruster (Main Prime Moving)	11 X 2	22
TOTAL			119.259

4.4.3 Perhitungan *Total Volume Ballast* yang dibutuhkan oleh AUV untuk mampu menyelam

Teori yang digunakan adalah sebagai berikut :

Volume Displacement > Total Berat AUV	Mengapung
Volume Displacement = Total Berat AUV	Melayang
Volume Displacement < Total Berat AUV	Tenggelam

Tabel 4.15 Perhitungan volume aktif ballast AUV

Volume Displacement AUV	**Massa AUV**	
	Tipe	Massa (Kg)
$3.348\ m^3$	Kontruksi AUV	1692.828
	Kontruksi Ballast	198.368
	Peralatan Electrical	119.259
	Total	**2010.455**

Dari data diatas maka = Volume Displacement – Total Massa

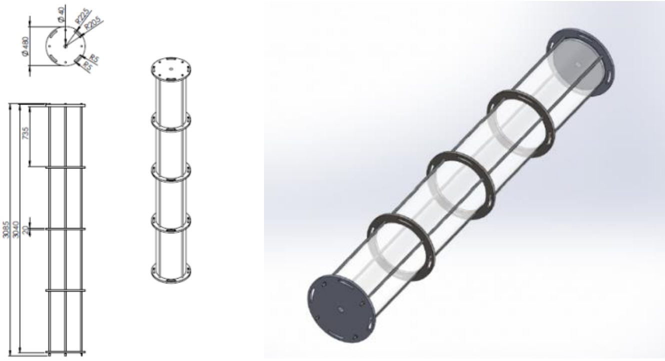
= 3.348 – 2.010

= $1.3338\ m^3$

Nilai tersebut yang akan menjadi patokan untuk membuat perancanagan aktif ballast sistem di mulai dari kebutuahan saat AUV mengapung, melayang, dan tenggelam.

4.4.4 Perencanaan Kontruksi Desain Ballast Aktif AUV

Perencanaan desain aktif ballast pada AUV bertujuan untuk mengetahui total volume yang mampu air yang mampu ditampung oleh AUV sebagai sistem ballast aktif . Bahan yang digunakan dalam perencanaan kali ini adalah Acrylic sebagai tabung utama, dan sebagai penutupnya terbuat dari ASTM A36 Steel, sebagai *support* di bagaian tengahnya direncanakan terbuat dari NYLON tipe 101.



Gambar 4.51 Geometri Kontruksi Aktif Ballast

Halaman ini Sengaja Dikosongkan

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Perbandingan nilai tahanan pada variable 1 adalah 6.991 N, variable 2 adalah 7.024 N, dan variable 3 adalah 7.882 N. Tahanan yang terkecil adalah pada desain variable ke 1.

2. Gaya dorong yang dibutuhkan untuk mendorong AUV pada variable 1 adalah 192.22 lbf , pada variable 2 adalah 193.16 lbf, dan pada variable 3 adalah 216.75 lbf.

3. Penggerak utama AUV yang dipilih dengan tipe model 2020, *input voltage* 48 Vdc, nilai thrust 250 lbf pada 1620 rpm (*forward*), dan 160 lbf pada 1310 rpm (*reverse*) menggunakan *input power* 6.3 Kw (*forward*) dan 4 Kw (reverse).

5.2 Saran

1. Pada penelitian selanjutnya diharapkan adanya analisa tentang proses manuvering AUV.
2. Pada penelirian selanjutnya diharapkan membahas tentang proses joining AUV. penulis juga memberikan saran untuk proses joining menggunakan prinsip *knock down* (ilustrasi pada lampiran 2 & 3)
3. Pada penelitian selanjutnya diharapkan adanya analisa efisiensi terhadap baterai dengan menggunakan penggerak utama berbasis *azimuth axis thruster* dan *fix axis thruster* .(Ilustrasi pada lampiran 4)

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

[1] Nugraha,M dkk.2017 Perancangan Tipe Kapal Selam tipe Tumbelhome Hull Dan Karakteristik.

[2] Jati ,A . 2016. Simulasi Desain Geometri Untuk Mendapatkan Nilai Pusat Massa Dan Koefessien Hidrodinamika untuk AUV Segorogeni dan AUV Militus. Tugas Akhir D3 Teknik Mesin ITS. Surabaya

[3] Pamuji, R dkk. Analisa Stabilitas Dan Equilibrium Kapal Selam Midget 150 Untuk Perairan Indonesia. Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

[4] Munazid,A.dkk 2015. Pengembangan foil NACA seri 2412 sebagai sistem penyelaman model kapal selam.

[5] Virliani,P dkk. 2017 Analisa Drag dan Lift variasi bentuk *after body* dengan Metode CFD..

[6] Rohmah L.N. 2018. Analisa Penggunaan *Eagle Shape Foil* Pada *Liquid Robotics Wave Glider* Menggunakan Metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD).

[7] Saiful A, 2017. Analisa pengaruh variasi kecepatan terhadap tekanan pada model kapal selam dengan menggunakan simulasi numerik.

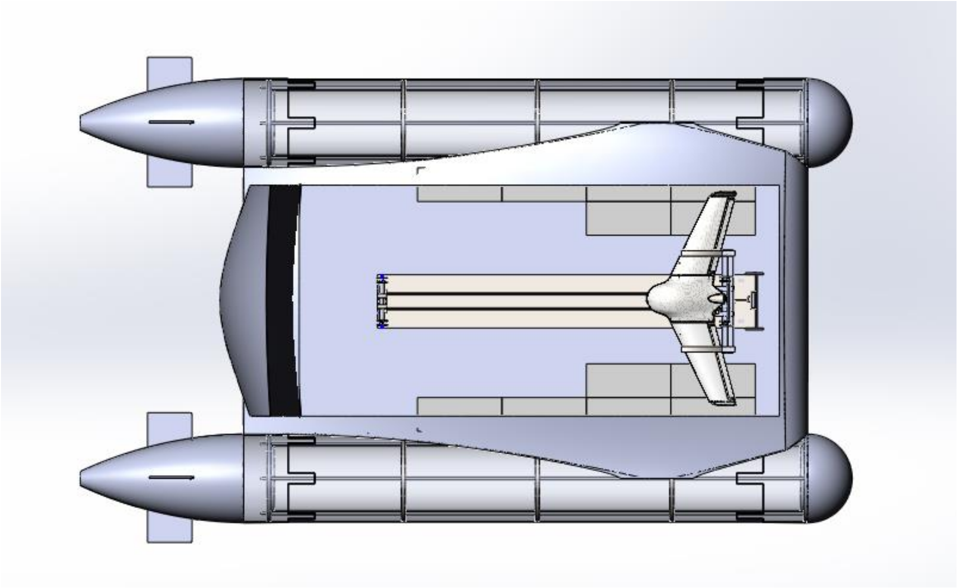
[8] Wulandari J 2019, Analisa Penambahan Stern Flap Pada Kapal Patroli

[9] Erwandi dkk. 2012. Deain dan Uji Hidrodinamika kapal selam mini berbobot 133 Ton.

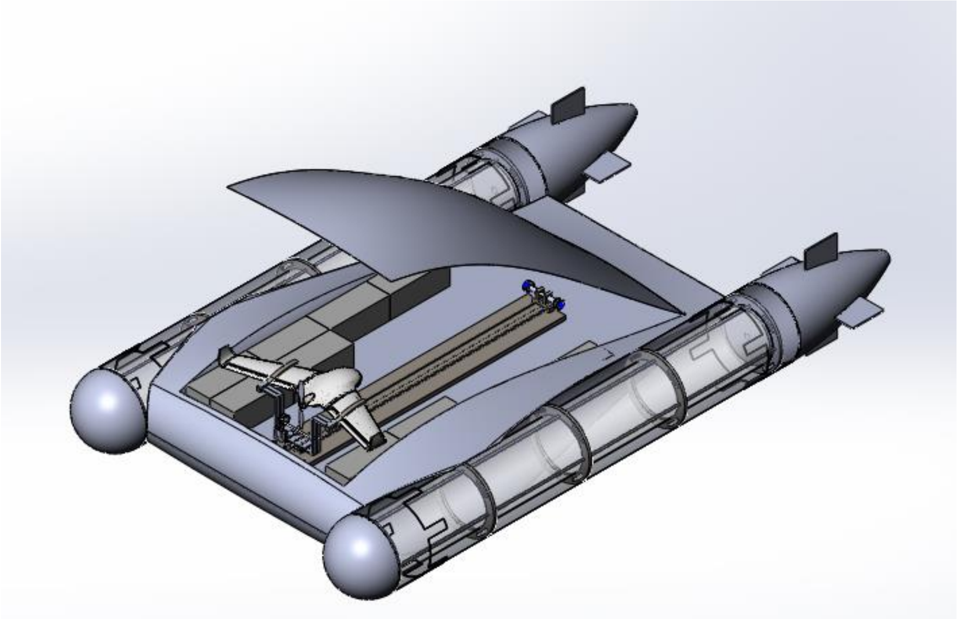
[10] Djaufani.M.B2015. PErancangan dan Realisasi Kebutuhan Kapasitas BAterai untuk beban pompa Air 125 Watt Menggunakann Pembangkit Listrik Tenaga Surya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 1

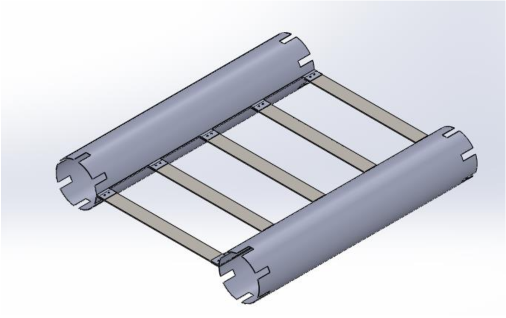


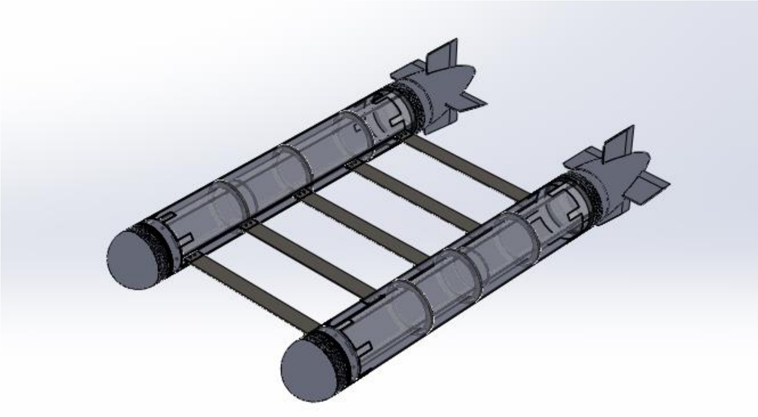
Gambar AUV dan baterai tampak (atas)

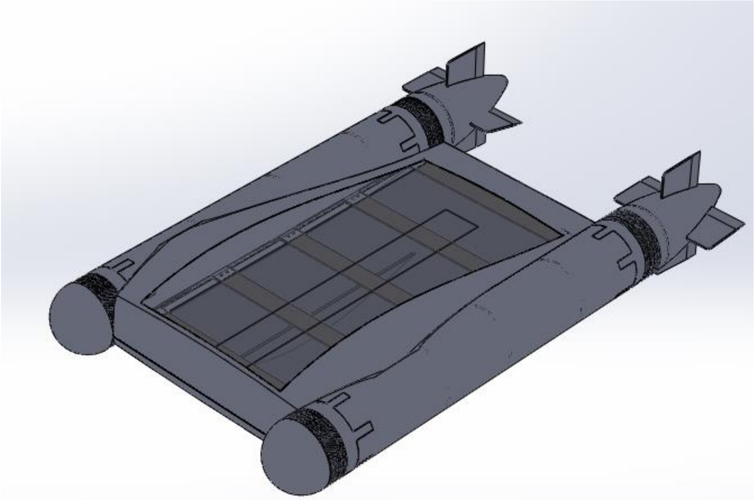


Gambar AUV dan baterai tampak (isometri)

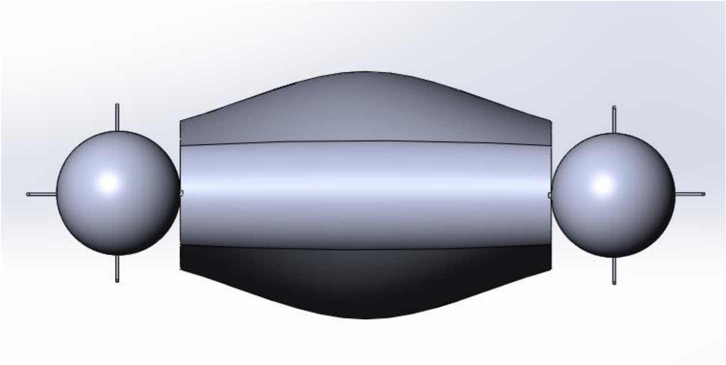
Lampiran 2
Join torpedo yang sedang dibuat :

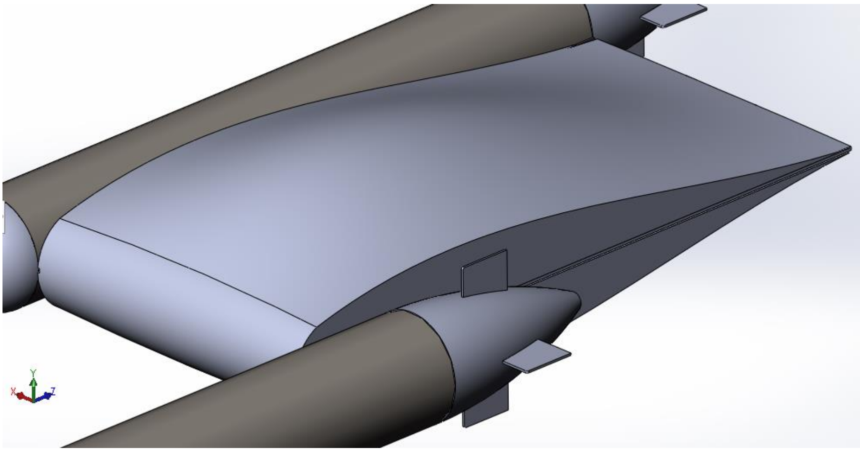


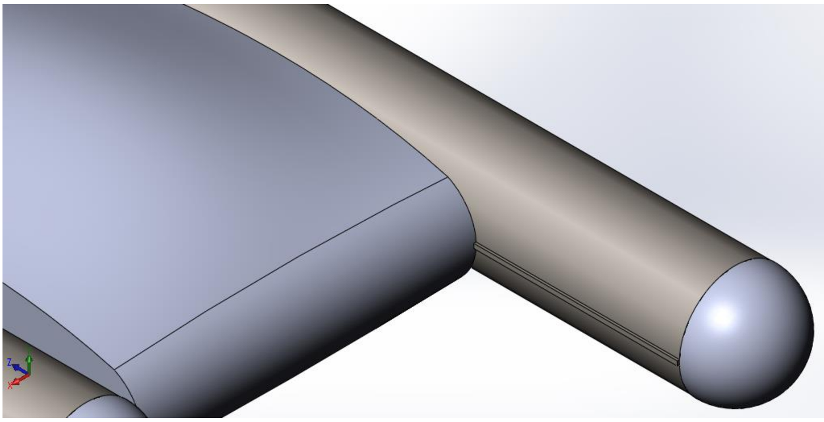




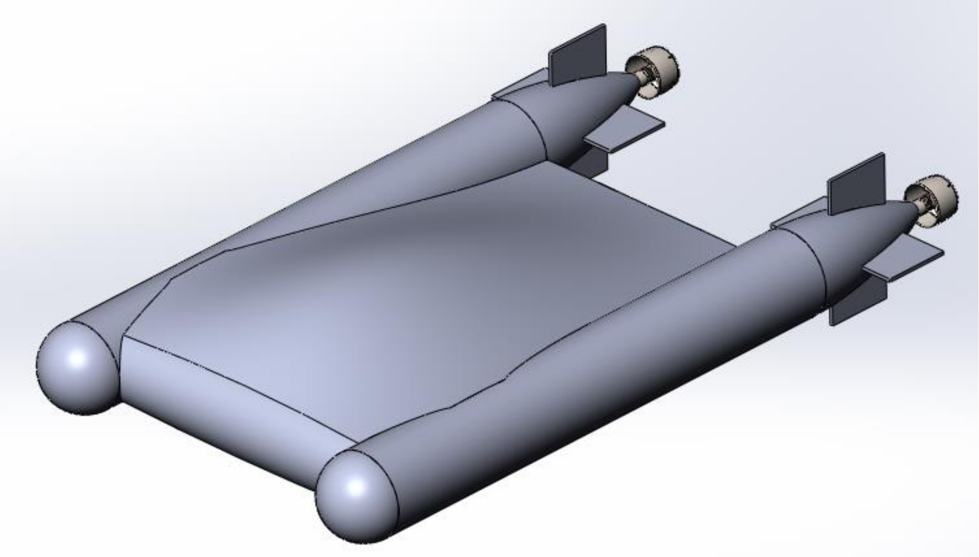
Lampiran 3
Join torpedo yang disarankan untuk penelitian selanjutnya.



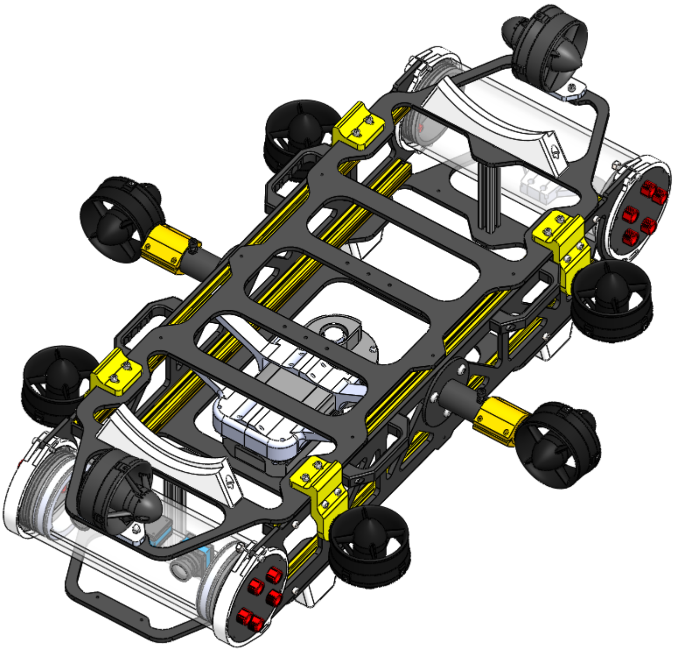




Lampiran 4
Penempatan thruster yang sedang di desain dan axis azimuth thruster.



Gambar penempatan *thruster* yang sedang didesain



Gambar *equipment* yang menggunakan *Azimuth Thruster*

BIODATA PENULIS

Abdul Sayyid Azzindani dengan nama panggilan Azzin, dilahirkan di Gresik, 26 Nopember 1995 yang bertempat tinggal di Desa Plosobuden RT. 04 RW 01 Kecamatan Deket Kab. Lamongan. Penulis merupakan anak tunggal yang berasal dari orang tua Bapak Umar dan Ibu Sutatik. Riwayat pendidikan penulis adalah lulusan MI Minhajul Huda pada tahun 2008, lulusan SMPN 2 Lamongan pada tahun 2010, dan lulusan SMAN 1 Lamongan pada tahun 2014. Pada tahun 2014 penulis memutuskan untuk melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya tepatnya di Jurusan D3 Teknik Mesin. Setelah lulus program diploma penulis melanjutkan kuliah sarjana di Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Kelautan (FTK) Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pada masa pendidikan di ITS, penulis mengerjakan Tugas Akhir yang berjudul “Perancangan Sistem Penggerak AUV Menggunakan Metode CFD”. Dibawah bimbingan bapak Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD.,M.MT dan Achmad Baidowi, S.T., M.T

Data Pribadi

Nama	: Abdul Sayyid Azzindani
Alamat	: Plosobuden RT/RW 04/01, Kec. Deket, Kab. Lamongan
Email	: Azzindani.abdul@gmail.com