

ANALISA STABILITAS DAN EQUILIBRIUM KAPAL SELAM MIDGET 150 UNTUK PERAIRAN INDONESIA

*Rochman Ikhsan Pamuji, Dr. Eng Deddy Chrismianto, ST, MT., Ir. Kiryanto, MT.
Program Studi S1 Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro*

ABSTRAK

MIDGET 150 adalah kapal selam dari korea selatan yang termasuk kapal selam kelas changbogo yang mampu menyelam hingga 150 m di bawah permukaan air laut. Sesuai dengan spesifikasi kapal selam tersebut maka Indonesia akan bekerjasama dengan korea selatan dalam pembuatan kapal selam. Jadi kapal selam MIDGET 150 adalah salah satu kapal selam yang akan di kembangkan di Indonesia. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai stabilitas dan pembuatan polygon equilibrium kapal selam MIDGET 150 sebelum dan sesudah diubah penataan tangkinya. Sehingga hasilnya mendapatkan nilai stabilitas ,dan polygon equilibrium saat terjadi perubahan penempatan tangki dan sebelum terjadi perubahan.

Metode yang digunakan untuk penelitian ini adalah menggunakan software komputasi numerik atau software perkapalan untuk membantu perhitungan pada hidrostatis, stabilitas dan equilibrium. Untuk Analisa stabilitas dilakukan melalui perhitungan nilai stabilitas terhadap kurva stabilitas pada sudut kemiringan 0 – 90°. Analisis menggunakan pedoman standar stabilitas yang dikeluarkan oleh IMO. Analisa Equilibrium kapal selam dilakukan menggunakan software perkapalan di mulai dari pembuatan batas polygon equilibrium dan perhitungan manual untuk kondisi pembebanan kapal selam.

Hasil analisa stabilitas menggunakan aturan IMO (International Maritim Organization) Dalam perhitungannya, MIDGET 150 telah memenuhi semua kriteria IMO dalam 6 kondisi berbeda dan diperoleh hasil, kapal selam tersebut memiliki stabilitas yang baik dan dalam pembuatan equilibrium polygon yang mengacu pada peletakan tangki sebelum dan sesudah di ubah. maka tangki kapal selam sebelum diubah letaknya memiliki equilibrium yang baik dan setelah diubah letaknya equilibrium kapal selam dinyatakan tidak baik. sehingga peletakan tangki-tangki pada kapal selam sangat berpengaruh terhadap equilibrium kapal selam tersebut.

Kata kunci : MIDGET 150, Stabilitas, Equilibrium Polygon

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

MIDGET 150 adalah kapal selam dari korea selatan termasuk golongan kapal selam kelas changbogo, kapal selam ini termasuk kapal selam berukuran sedang yang mampu menyelam hingga 150 m dibawah permukaan air laut,yang sangat sesuai dengan wilayah perairan Indonesia. maka dari itu indonesia berkerja sama dalam pembuatan kapal selam kelas sedang tersebut dengan korea selatan.

Menurut informasi terbaru Indonesia bekerja sama dengan korea selatan dalam proyek pembuatan kapal selam untuk memperkuat pertahanan militer dibidang maritim, maka dari itu Indonesia berencana mengirimkan lima puluh insinyur yang akan belajar di korea selatan dalam proyek pembuatan kapal selam tersebut. Sampai tahun 2024 indonesia menargetkan membuat empat belas kapal selam secara bertahap.dan selanjutnya pembuatan kapal selam murni karya anak bangsa. Terkait hal tersebut di atas kapal selam MIDGET 150 merupakan kapal selam

yang sesuai dengan kapal selam yang akan di kembangkan di Indonesia melalui kerjasama dengan korea selatan.

Dalam hal ini penulis tertarik untuk meneliti stabilitas dan equilibrium kapal selam tersebut sehingga nanti dapat di simpulkan bagaimana nilai stabilitas dan equilibrium kapal selam MIDGET 150 dan apakah kapal selam tersebut layak di kembangkan di Indonesia dengan melihat hasil analisa tersebut.

1.2. Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini penulis mengambil beberapa rumusan masalah mengenai kapal selam MIDGET 150. Berikut adalah beberapa rumusan masalah, antara lain:

1. Mengetahui stabilitas kapal selam MIDGET 150 pada saat kapal berada di permukaan air.
2. Apakah pengaturan tangki-tangki ballast kapal selam saat menyelam memiliki equilibrium yang baik

3. Bagaimana equilibrium kapal selam ketika terjadi perubahan pada peletakan tangki-tangki pada kapal selam
4. Bagaimana prototype untuk kapal selam MIDGET 150 tersebut.

1.3. Batasan Masalah

Agar pembahasan tidak melebar terlalu jauh maka pada penelitian ini penulis akan membatasi masalah pada hal-hal berikut ini:

1. Kapal yang akan di analisa adalah kapal selam MIDGET 150 dan Analisa hanya memperhitungkan stabilitas kapal pada saat di kapal di permukaan.
2. Polygon equilibrium di dapat dengan pengolahan tangki ballast kapal selam pada saat kondisi menyelam.
3. Pembuatan Prototype hanya untuk kapal selam MIDGET 150
4. Tidak menghitung tentang analisa kekuatan pada konstruksi kapal selam MIDGET 150 tersebut.

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang telah diutarakan sebelumnya, maka maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan hasil analisa stabilitas pada kapal selam MIDGET 150 pada saat kapal selam di permukaan.
2. Mendapatkan hasil Polygon equilibrium pada kapal selam MIDGET 150 sehingga bisa di simpulkan hasilnya.
3. Mendapatkan hasil polygon equilibrium kapal selam MIDGET 150 ketika terjadi variasi peletakan tangki-tangki pada kapal selam sehingga bisa di bandingkan sebelum dan sesudah terjadi perubahan

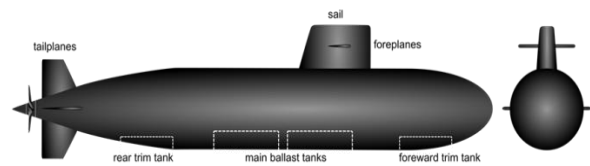
2. TINJAUAN PUSTAKA.

2.1. Pengertian dan Karakteristik Kapal

Kapal selam merupakan sebuah wahana yang unik karena bisa mengapung dan menyelam di air sesuai kebutuhan. Pembuatan kapal selam pertama kali di gunakan untuk keperluan perang dan masih berbentuk sangat sederhana. namun pada masa sekarang selain di gunakan untuk perang kapal selam juga di gunakan sebagai wahana rekreasi dan penelitian bawah air.

(<http://en.wikipedia.org/wiki/Submarine>)

Submarine control surfaces



Gambar 2.1. Submarine Control Surface

Yang jadi pertanyaan sekarang adalah kenapa kapal selam biasa melayang di dalam air dan juga terapung. padahal kapal selam mencapai bobot mencapai satuan ton ,ternyata kapal selam menggunakan prinsip penerapan hukum Archimedes yang terkait dengan terapung, melayang dan tenggelam.

Bunyi hukum Archimedes “Jika suatu benda dicelupkan ke dalam sesuatu zat cair, maka benda itu akan mendapat tekanan keatas yang sama besarnya dengan beratnya zat cair yang terdesak oleh benda tersebut”.

Maka dapat kita tentukan persamaan sebagai berikut:

$$FA = \rho \times V \times g$$

Keterangan rumus hokum Archimedes

FA = Gaya ke atas yang dialami benda (N)

ρ = Masa jenis zat cair (kg/m³)

V = Volume air yang terdesak (m³)

G = Percepatan gravitasi (m/det²)

Jadi inti dari prinsip kapal selam Ketika terapung Massa Jenis total kapal selam lebih kecil dari air laut dan sewaktu tenggelam Massa Jenis total kapal selam lebih besar dari air laut. Kapal selam memiliki tangki pemberat yang berisi air dan udara. Tangki tersebut terletak di antara lambung kapal sebelah dalam dan luar. Tangki dapat berfungsi membesar atau memperkecil Massa Jenis total kapal selam. Ketika air laut dipompa masuk ke dalam tangki pemberat, Massa Jenis kapal selam lebih besar dan sebaliknya agar Massa Jenis total kapal selam menjadi kecil, air laut dipompa ke luar. Maka dapat di terapkan dengan rumus sebagai berikut:

$$\rho = \frac{M}{V}$$

Keterangan:

ρ = Massa Jenis (kg/m³atau g/cm³)

m = massa benda (kg atau gram)

V = volume benda m³ atau cm³)

2.2. Hidrostatik Karakteristik.

Kurva hidrostatik adalah kurva yang menggambarkan dari sebuah kapal mengenai sifat-sifat karakteristik badan kapal.

2.3. Stabilitas kapal

Stabilitas kapal selam ketika kapal selam berada di permukaan air sebenarnya sama dengan stabilitas kapal pada umumnya. dan Yang disebut stabilitas pada umumnya adalah kemampuan dari suatu benda yang melayang atau mengapung dan dimiringkan untuk kembali berkedudukan tegak lagi. Stabilitas adalah persyaratan utama desain setiap kapal. Pada kapal besar, seringkali stabilitas memanjang tidak seberapa perlu untuk diperhitungkan karena biasanya dianggap cukup besar. Yang paling perlu mendapat perhatian pada waktu merencanakan kapal adalah stabilitas melintangnya. Stabilitas pada sudut oleng kecil ($<6^\circ$) disebut stabilitas awal, tetapi untuk kapal ikan lebih penting dari yang lain karena sebuah kapal ikan harus selalu bekerja dengan beban stabilitas yang berat.

Stabilitas pada umumnya adalah stabilitas pada sudut oleng antara 10° - 15° . Stabilitas ini ditentukan oleh 3 buah titik yaitu titik berat (*center of gravity*), titik apung (*center of buoyancy*) dan titik metasentra. Adapun pengertian dari titik-titik tersebut adalah:

1. Titik berat (G) menunjukkan letak titik berat kapal, merupakan titik tangkap dari sebuah titik pusat dari sebuah gaya berat yang menekan kebawah. Besarnya nilai KG adalah nilai tinggi titik metasentra (KM) diatas lunas dikurangi tinggi metasentra (MG)
2. Titik apung (B) menunjukkan letak titik apung kapal, merupakan titik tangkap dari resultan gaya-gaya yang menekan tegak keatas dari bagian kapal yang tercelup.
3. Titik metasentra (M) merupakan sebuah titik semu dari batas dimana G tidak boleh melewati diatasnya agar kapal selalu mempunyai stabilitas yang positif (stabil).

2.4. Equilibrium Polygon

Equilibrium polygon adalah presentasi grafis dari perubahan berat dan moment dengan memvariasikan jumlah cairan dalam ballast dan tangki bahan bakar. Hal ini digunakan untuk menentukan apakah kapal selam dapat benar seimbang dalam segala kondisi pembebanan. Bahkan equilibrium polygon digunakan untuk memastikan bahwa kapal selam akan dapat tetap

mengapung dan menyelam dalam berbagai kondisi.

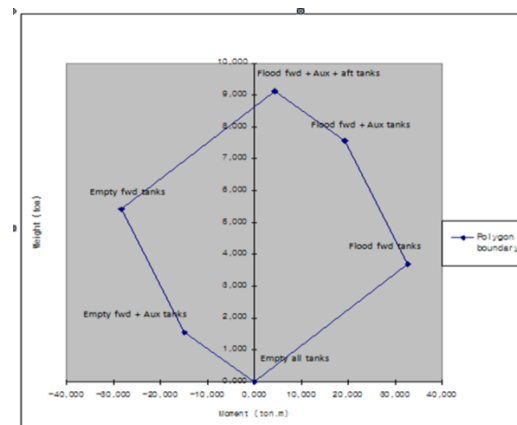
Langkah pertama dalam membuat equilibrium polygon dengan kondisi pembebanan adalah mengatur letak tangki pada kapal selam sesuai pada gambar rencana umum. Langkah selanjutnya kita analisa tiap-tiap kondisi mulai dari semua tangki kosong lalu tangki depan terisi dan sampe semua tangki penuh. sampe akhirnya semua tangki di kosongkan kembali. Hasil dari analisa tersebut kita bisa menentukan LCB dan berat tiap-tiap kondisi. Maka kondisi batas equilibrium polygon bisa di gambar dengan mengacu pada LCB dan berat tiap-tiap kondisi.

Langkah terakhir dalam equilibrium polygon ini adalah menentukan berat dan momen untuk setiap kondisi pembebanan yang telah di tentukan sebelumnya, selanjutnya kita gambar apakah titik-titik kondisi pembebanan itu masuk dalam kondisi batas equilibrium polygon. Ketika titik pembebanan itu masuk maka equilibrium kapal selam itu terpenuhi.

Menurut to "Submarine design notes" oleh Jackson H, A, dan USN Capt terdapat 6 (enam) kondisi beban yang paling ekstrim yang harus di pertimbangkan dalam kapal selam yaitu:

No.	Loadcase Name	Description
1	Light #1	Torpedoes expended, LO 75%, fuel tank 75%, fresh water 100%, provision & stowage 50%, seawage 100%, density water 1.030 ton/m ³
2	Heavy After	Torpedoes expended, LO 75%, fuel tank 50%, fresh water 50%, provision & stowage 50%, seawage 50%, density water 1.019 ton/m ³
3	Heavy #1	Torpedoes complete, LO & fuel tank 50%, fresh water 50%, provision & stowage 50%, seawage 100%, density water 1.019
4	Heavy #2	Torpedoes complete, LO 50%; fuel tank full, fresh water 50%, provision & stowage 50%, seawage 100%, density water 1.019
5	Heavy Forward #1	Torpedoes complete, LO 75%, fuel tank full, fresh water 75%, provision & stowage 75%, seawage 100%, density water 1.030
6	Heavy Forward #2	Torpedoes complete, LO 75%, fuel tank full, fresh water 50%, provision & stowage 50%, seawage 100%, density water 1.019

Tabel 2.1. contoh dari 6 kondisi pembebanan



Gambar 2.2. contoh dari polygon equilibrium kapal selam.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Studi Literatur

a. Data Primer

Data Primer yang dikumpulkan antara lain meliputi lines plan dan general arrangement kapal selam MIDGET 150.

b. Data Sekunder

Data sekunder didapat dari literatur (jurnal, paten, dan data lainnya).

3.1.1. Teknik Pengolahan Data

Dalam pengolahan data yang sudah didapat, penelitian ini dilakukan dengan menggunakan software komputasi numerik untuk membantu perhitungan pada hidrostatis, stabilitas dan equilibrium. Pengolahan data sekunder berupa ukuran utama kapal untuk persiapan proses perhitungan dan pembuatan gambar/pemodelan. Untuk mendukung semua itu maka akan didukung oleh laptop. Software yang digunakan untuk menganalisis data tersebut adalah *maxsurf pro* dan pemodelan dengan menggunakan software *rhinoceros 4.0*

3.2. Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan berdasarkan data-data yang diperoleh dari data primer maupun data sekunder. Data yang diperoleh antara lain: rencana umum, lines plan, dan muatan atau item-item yang ada di kapal selam. Analisa data tentang pengolahan data dan pemilihan-pemilihan pengerjaannya dengan cara menggunakan software *maxsurf pro*, dan *rhinoceros*.

Pengolahan data untuk menganalisa stabilitas dan equilibrium akan dimulai dengan tahapan sebagai berikut:

- Membuat model kapal sesuai dengan gambar rencana garis kapal selam MIDGET 150 dengan menggunakan software *Rhinoceros 4.0*
- Model yang telah dibuat dengan menggunakan software *rhinoceros 4.0* selanjutnya di *export* ke software *maxsurf pro* dengan format *file iges surfaces*
- File iges surfaces* di *import* ke software *maxsurf pro* di isi data kapal, antara lain: *units, grid space(sections, buttocks, dan waterlines), frame of reference, dan zero point.*
- Dengan menggunakan software *Maxsurf pro* analisa stabilitas dan equilibrium kapal MIDGET 150 dilakukan.

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

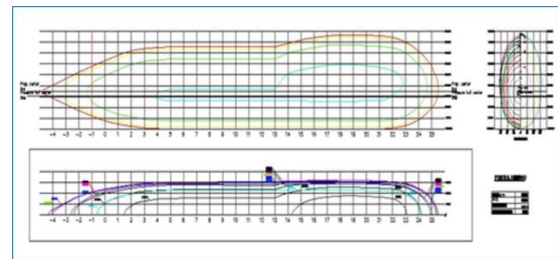
4.1. Tinjauan Umum Kapal

Dalam menganalisa Stabilitas dan Equilibrium kapal selam yang terpenting adalah mengetahui displasment kapal tersebut ketika di permukaan dan ketika menyelam dan harus berbeda, ketika kapal menyelam nilai displasment lebih besar dengan ketika kapal di permukaan, karena tangki ballast kapal selam tersebut penuh pada kondisi kapal menyelam dan ketika kapal di permukaan atau normal surface antara berat dan volume harus sama. berat meliputi berat item-item kapal selam (steel hull, El motor dll) + muatan tangki (fresh water,sewage,flexible tank,dll) dan volume meliputi volume tangki-tangki yang ada di dalam dan volume tangki-tangki yang ada di luar kapal. Ketika antara berat dan volume seimbang kapal selam tersebut bisa melayang atau dalam kondisi normal surface dan ketika kapal selam akan menyelam tinggal mengisi tangki ballast yang ada di depan dan belakang kapal, Ini merupakan system kerja dari kapal selam.

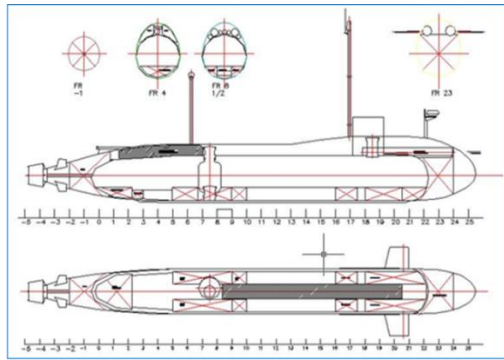
Dalam penelitian ini penulis menggunakan data penelitian yang telah ada dari kapal selam "MIDGET 150". Memiliki ukuran utama kapal yaitu :

UKURAN UTAMA KAPAL

<i>Loa</i>	: 30 m
<i>Breadth</i>	: 3,24 m
<i>Overall height</i>	: 4,36 m
<i>Surface displacement</i>	: 174 ton
<i>Submerged displacement</i>	: 203 ton
<i>Speed max surface</i>	: 10 knots
<i>peed max submerged</i>	: 12 knots
<i>Maximum operating depth</i>	: 150 m
<i>O² and CO² capacity</i>	: 20 day
<i>Crew</i>	: 4
<i>Commandos/Driver</i>	: 12



Gambar 4.1.Lines plan MIDGET 150

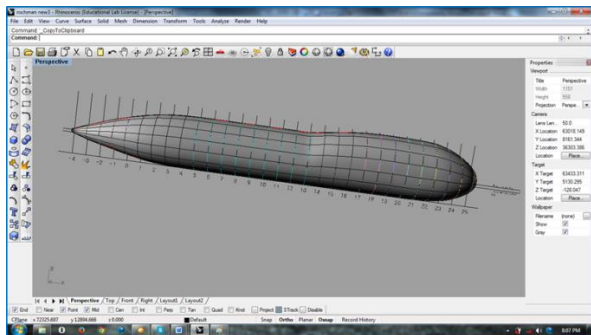


Gambar 4.2. Rencana umum MIDGET 150

4.2. Pembuatan model kapal

Membuat model kapal sesuai dengan gambar rencana garis kapal selam MIDGET 150 dengan menggunakan *software rhinoceros*, hal tersebut dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

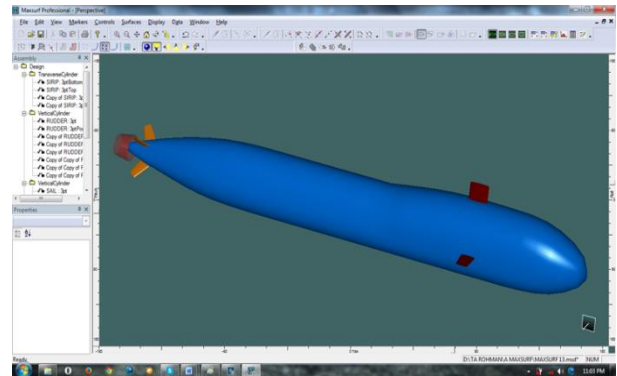
1. Dari data lines plan kapal selam tersebut kita bisa membuat model kapal dengan menggunakan *software rhinoceros* langkah pertama kita buka gambar lines plan tersebut menggunakan *software autocad 2010* lalu kita ubah format data tersebut menjadi *dxf* yang sebelumnya adalah *dwg*, kemudian kita buka *software rhinoceros* lalu kita import file *dxf* tersebut.
2. Setelah di import ke *rhinoceros* kita buat model 3D dengan *software ini*, seperti tampilan model di bawah ini.



Gambar 4.3. Gambar perspective pada *rhinoceros*

3. Selanjutnya model yang telah dibuat menggunakan *rhinoceros* di *save as* dengan format *file IGS surface*.
4. Model yang telah di *save as* dengan format *file IGS surface* selanjutnya di *import* ke *software maxsurf pro*
5. *File* yang telah di *import* ke dalam *software maxsurf pro* selanjutnya di isi data *units, coefficient calculation, grid space, frame of reference, dan zero point*
6. Model tersebut kita lengkapi dengan menggunakan *software maxsurf* antara lain

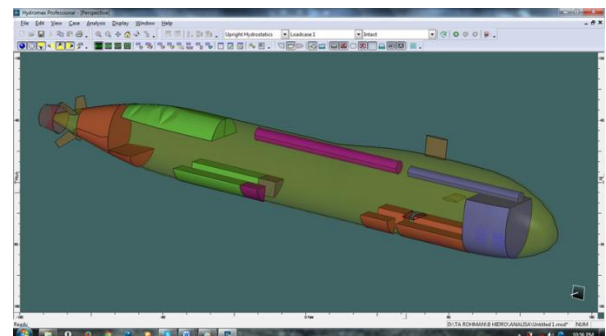
pembuatan (sail,rudder dll) gambar di bawah ini adalah model yang kita buat pada *software maxsurf*



Gambar 4.4. model fix pada *software maxsurf*

4.3. Penentuan lokasi tangki kapal selam dalam model 3D

Sebelum menganalisa stabilitas dan equilibrium kapal selam dilakukan, lokasi tangki-tangki dan kompartemen yang ada di dalam kapal selam harus di tentukan terlebih dahulu, Posisi tangki dan batas kompartemen dapat didefinisikan dengan menggunakan *software hydromax pro* sebagai bagian dari perangkat lunak *maxsurf*. Ukuran dari tangki-tangki tersebut sesuai dengan gambar *general arrangement* yang terdapat pada *autocad*, Hasil penataan tangki dalam 3D dapat di lihat pada gambar 4.7 ada beberapa warna untuk membedakan tangki dan fungsinya misalkan tangki ballast, tangki minyak pelumas, tangki bahan bakar dan tangki air tawar.



Gambar 4.5. Gambar letak tangki kapal selam pada *hydromax*.

Dari gambar tangki- tangki kapal selam di atas kita dapat menentukan kapasitas masing-masing tangki tersebut pada *software hydromax*, untuk kapasitas tangki pada kapal selam kita bisa liat pada table berikut.

Tabel 4.1. Tabel kapasitas tangki-tangki MIDGET 150 pada maxsurf

NO	TANK NAME	WEIGHT (TON)
1	AP Main Ballast Tank	6.957
2	After Trim Tank	1.431
3	Lubrication oil Tank	0.430
4	Auxiliary 1S Tank	1.759
5	Auxiliary 1P Tank	1.759
6	Flexible oil Tank S	3.971
7	Flexible oil Tank P	3.896
8	Sewage P	0.468
9	FW S Tank	0.701
10	FW P Tank	0.701
11	Forward Trim 2S Tank	1.721
12	Forward Trim 2P Tank	1.721
14	FP Main Ballast Tank	17.886
15	MISIL	2.995
16	FUEL	1.808

4.4 Penentuan displacement kapal ketika menyelam

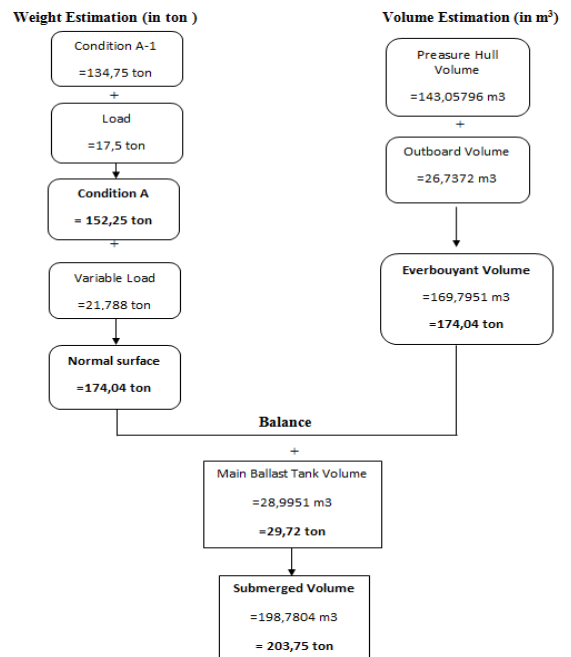
Kenapa kapal selam dapat terapung dan menyelam sesuai kebutuhan, hal ini yang membuat kapal selam berbeda dengan kapal yang lain, karena kapal selam mempunyai tangki ballast untuk mengubah besarnya displacement kapal tersebut. Kapal selam dalam kondisi melayang atau normal surface maka kapal selam tersebut mempunyai volume dan berat yang sama sehingga masa jenis kapal selam tersebut sama dengan masa jenis air. Ketika kapal selam menyelam maka berat lebih besar daripada volume dengan mengisi tangki ballast pada kapal selam tersebut, sehingga estimasi berat dan volume pada kapal selam harus di perhitungkan dengan tepat.

Estimasi berat pada saat kapal menyelam dapat diperoleh dari kondisi A + variabel beban (variable load) + tangki ballast utama (main ballast tank). Sedangkan estimasi volume dari displacement pada saat menyelam dapat di peroleh dari pressure hull volume + outboard volume + main ballast tank.

- Estimasi berat dalam kapal selam meliputi:
 1. condition A1 = berat item-item pada kapal selam yaitu berat propulsion, structure, electrical, auxiliaries (Steel hull, El motor, D-generator, dll)
 2. Condition A1 + Lead = Condition A (Lead meliputi add fixed ballast dan Drop/anchor)
 3. Condition A + Variable Load = Normal Surface Condition (NSC) Variable Load meliputi tangki –tangki pada kapal selam
 4. Condition A + Variable Load = Normal Surface Condition (NSC)

Variable Load meliputi tangki –tangki pada kapal selam

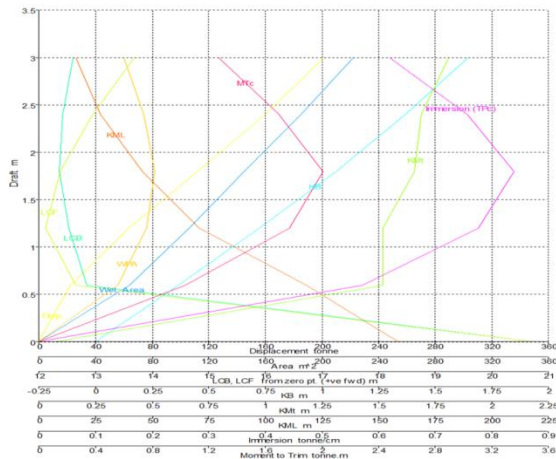
- Estimasi volume pada kapal selam meliputi :
 1. Pressure hull volume (volume tangki-tangki pada kapal selam yang berada di dalam silinder)
 2. Outboard volume (volume tangki-tangki tangki pada kapal selam yang berada di luar silinder. Secara terperinci beberapa kondisi dapat di gambarkan sebagai berikut :



Gambar 4.5. Diagram alir estimasi berat dan volume

4.5. Analisa Hidrostatik Kapal

Lengkungan Hidrostatik merupakan sebuah gambar kurva yang menggambarkan sifat-sifat badan kapal yang tercelup dalam air atau untuk mengetahui sifat-sifat *carene*. Lengkungan-lengkungan hidrostatik digambarkan kurvanya sampai sarat penuh dan tidak dalam kondisi kapal trim. Dan berikut analisa *hydrostatic* kapal selam menggunakan *software*. terdapat beberapa langkah dalam analisa hidrostatik dari Hasil gambar desain kapal pada model program *rhinoceros* yang telah di *export* ke *maxsurf pro* kemudian dilanjutkan di program perkapalan untuk kemudian dilakukan analisa lebih lanjut.



Grafik 4.1. Kurva Hidrostatik MIDGET 150.

4.6. Stabilitas Kapal

Sebagai persyaratan yang wajib tentunya stabilitas kapal harus mengacu pada rules yang telah diakui seperti *International Maritime Organisation (IMO)*. Dalam perhitungan stabilitas ini, kapal diasumsikan dengan 7 kondisi yang menggambarkan kondisi operasional kapal yang mungkin. Penentuan stabilitas kapal ini menggunakan kriteria-kriteria yang telah tersedia dalam software perkapalan. Langkah-langkah yang dilakukan antara lain:

1. Input desain kapal dari software permodelan yang telah dibuat.
2. Mengisikan koordinat tangki-tangki kapal ke dalam kolom *compartment definition*, dan secara otomatis akan tergambar pada tiap-tiap *view port*.
3. Mengisikan berat dan koordinat titik berat komponen tangki-tangki yang menyusun kapal ke dalam kolom *loadcase*.
4. Mengisikan standarisasi IMO dan jenis analisa yaitu *Large Angle Stability*, kemudian memulai perhitungan dengan menekan icon *start stability Analysis*, secara otomatis software perkapalan akan mensimulasikan dan menghitung stabilitas kapal.

4.6.1. Analisa dan Perhitungan Stabilitas Pada Berbagai Kondisi

Untuk menghitung Stabilitas, kita perlu terlebih dahulu menentukan kondisi-kondisi yang mungkin akan dialami oleh kapal selam tersebut, maka dipilih kondisi-kondisi seperti di bawah ini, dari semua kondisi tangki ballast tidak di isi (Main ballast tank 0%) karena kapal selam berada di permukaan.

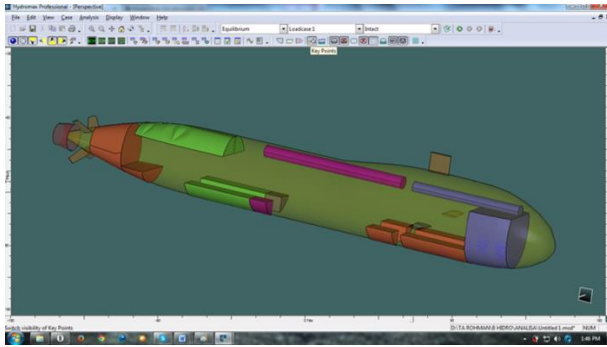
1. Persentase perhitungan stabilitas pada kondisi I Menerangkan kondisi kapal selam dengan muatan penuh.

2. Persentase perhitungan stabilitas pada kondisi II Menerangkan kondisi kapal selam (misil 100%, LO dan Fuel with Flexible tank 50%, Fresh water 50%, provision dan stowage 50%, sewage 100%)
3. Persentase perhitungan stabilitas pada kondisi III Menerangkan kondisi kapal selam (misil 100%, LO 50%, Fuel with Flexible tank 100%, Fresh water 50%, provision dan stowage 50%, sewage 100%)
4. Persentase perhitungan stabilitas pada kondisi IV Menerangkan kondisi kapal selam (misil 0%, LO 75%, Fuel with Flexible tank 75%, Fresh water 100%, provision dan stowage 50%, sewage 100%)
5. Persentase perhitungan stabilitas pada kondisi V Menerangkan kondisi kapal selam (misil 100%, LO 75%, Fuel with Flexible tank 100%, Fresh water 75%, provision dan stowage 75%, sewage 100%)
6. Persentase perhitungan stabilitas pada kondisi VI Menerangkan kondisi kapal selam (misil 100%, LO 75%, Fuel with Flexible tank 100%, Fresh water 50%, provision dan stowage 50%, sewage 100%)
7. Persentase perhitungan stabilitas pada kondisi VII Menerangkan kondisi kapal selam (misil 100%, LO 75%, Fuel with Flexible tank 75%, Fresh water 100%, provision dan stowage 50%, sewage 100%)

Hasil analisa berdasarkan rules IMO (International Maritime Organization) dengan Code A.749(18) Criteria 3.1.2.:Max GZ at 30 or greather dan 3.1.2.4:initial GMT.stabilitas kapal ditampilkan pada lampiran.

4.7. Equilibrium Polygon

Untuk mengetahui apakah equilibrium kapal selam Midget 150 sudah baik apa belum, kita buat equilibrium polygon berdasarkan penataan tangki-tangki yang terdapat pada kapal selam. karena batas-batas grafik dihitung dari tangki variabel. Pembuatan equilibrium polygon dimulai dengan mengidentifikasi LCB dan berat masing-masing tangki variabel dimulai dari semua tangki dikosongkan kemudian tangki depan terisi penuh selanjutnya semua tangki terisi pada kondisi ini posisi kapal selam dalam keadaan menyelam untuk kembali keatas atau ke permukaan kita mulai lagi dari tangki depan di kosongkan kemudian tangki depan dan tangki tambahan di kosongkan dan selanjutnya semua tangki di kosongkan.

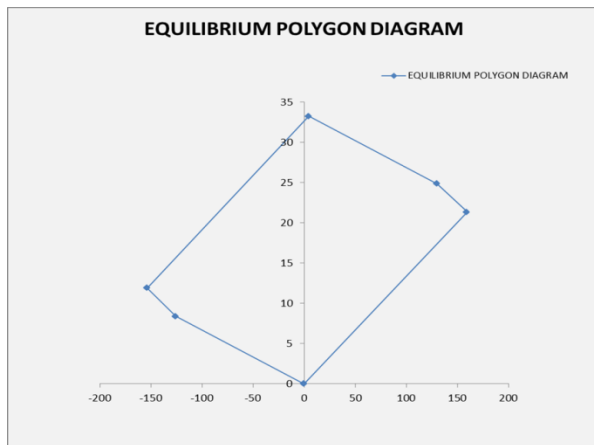


Gambar 4.6. Peletakan tangki kapal selam asli (model 1)

Secara rinci kita buat equilibrium polygon dapat di tentukan 7 (tujuh) langkah-langkah sebagai berikut.

Tabel 4.3. kondisi batas pada equilibrium polygon

No	Loadcase Name
1	All Empty Tank
2	FP Main Ballast Tank Flood
3	FP Main Ballast Tank + Auxiliary Tank Flood
4	FP Main Ballast Tank + Auxiliary Tank Flood + AP Main Ballast Tank
5	FP Main Ballast Tank Empty
6	FP Main Ballast Tank + Auxiliary Tank Empty
7	All Empty Tank



Grafik 4.2 Equilibrium Polygon Diagram Ballast Tank

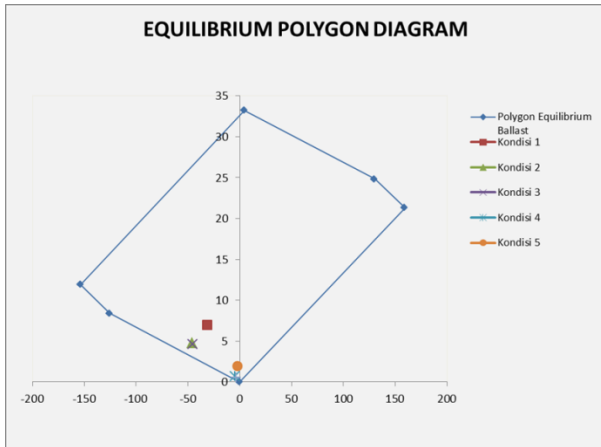
Setelah batas equilibrium polygon di tetapkan langkah selanjutnya adalah menentukan berat dan moment untuk setiap kondisi pembebanan yang di inginkan, dan kemudian di gambar dalam equilibrium polygon jika semua kondisi pembebanan yang di inginkan berada di dalam batas equilibrium polygon maka equilibrium polygon dapat di tentukan sebagai pedoman untuk mengelola tangki ballast variabel ketika kapal selam ingin ke permukaan atau menyelam

Menurut buku “Submarine design notes“ oleh Jackson H,A, terdapat 6 kondisi pembebanan yang paling extrim yang harus di pertimbangan pada kapal selam. Kondisi yang di gunakan adalah sebagai berikut:

1. Kondisi I
Menerangkan kondisi kapal selam (misil 100%, LO dan Fuel with Flexible tank 50%, Fresh water 50%, provision dan stowage 50%, sewage 100%)
2. Kondisi III
Menerangkan kondisi kapal selam (misil 100%, LO 50%, Fuel with Flexible tank 100%, Fresh water 50%, provision dan stowage 50%, sewage 100%)
3. Kondisi IV
Menerangkan kondisi kapal selam (misil 0%, LO 75%, Fuel with Flexible tank 75%, Fresh water 100%, provision dan stowage 50%, sewage 100%)
4. Kondisi V
Menerangkan kondisi kapal selam (misil 100%, LO 75%, Fuel with Flexible tank 100%, Fresh water 75%, provision dan stowage 75%, sewage 100%)
5. Kondisi VI
Menerangkan kondisi kapal selam (misil 100%, LO 75%, Fuel with Flexible tank 100%, Fresh water 50%, provision dan stowage 50%, sewage 100%)
6. Kondisi VII
Menerangkan kondisi kapal selam (misil 100%, LO 75%, Fuel with Flexible tank 75%, Fresh water 100%, provision dan stowage 50%, sewage 100%)

Tabel 4.4. Kondisi pembebanan Pada Equilibrium Polygon

No	Loadcase Name	Weight ton	LCB m	Momen ton.m
1	Kondisi 1	7.005	-4.450	-31.172
2	Kondisi 2	4.731	-9.740	-46.080
3	Kondisi 3	4.605	-9.850	-45.359
4	Kondisi 4	0.671	-6.410	-4.301
5	Kondisi 5	1.918	-1.120	-2.148
6	Kondisi 6	0.565	-6.560	-3.706

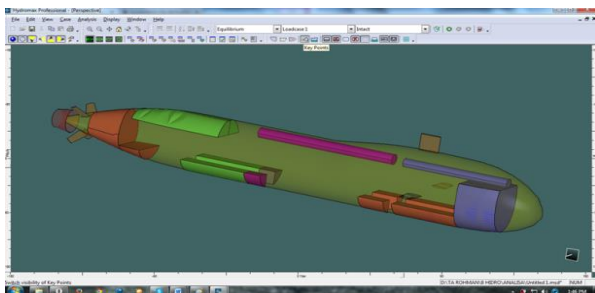


Grafik 4.3. Equilibrium Polygon Diagram All Tank (model 1)

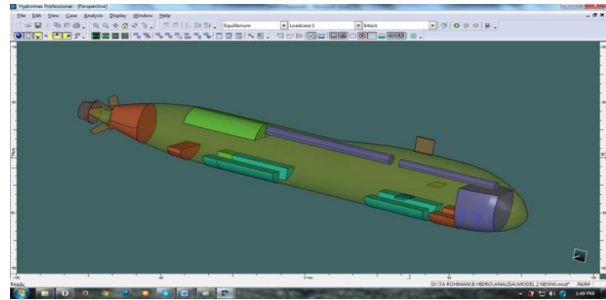
Hasil gambar di atas dapat di nyatakan bahwa 6 titik kondisi pembebanan yang palang ekstrim pada kapal selam berada di dalam batas equilibrium polygon maka equilibrium pada kapal selam tersebut dapat di nyatakan baik. Jadi dapat di simpulkan bahwa kapl selam tersebut benar-benar seimbang ketika keadaan mengapung dan menyelam dalam berbagai kondisi pembebanan.

4.8. Equilibrium polygon saat terjadi perubahan peletakan tangki

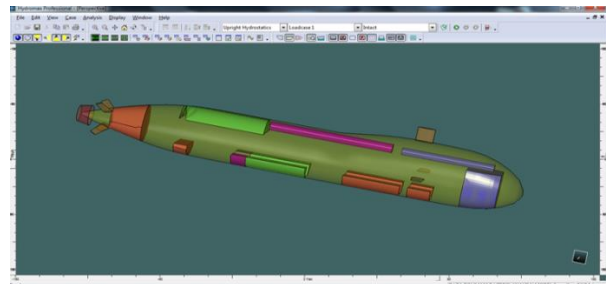
Ketika tangki-tangki pada kapal selam kita ubah letaknya maka equilibrium polygon kapal selam tersebut juga akan berubah maka kita akan liat hasil dari perubahan peletakan tangki tersebut apakah dapat dinyatakan equilibrium kapal selam masih dikatakan baik atau tidak. Langkah pertama kita ubah peletakan tangki-tangki pada software hydromax setelah itu kita analisa seperti langkah di bap sebelumnya, gambar di hydromax dapat di lihat pada gambar berikut.



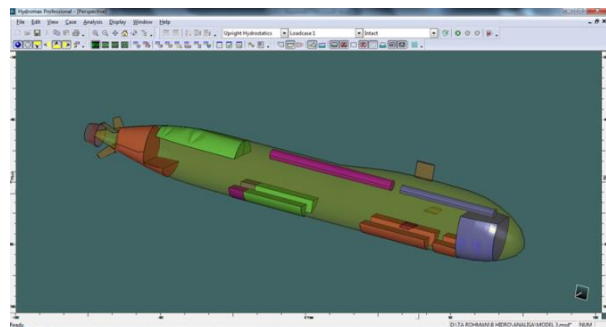
Gambar 4.7. Peletakan tangki kapal selam asli (model 1)



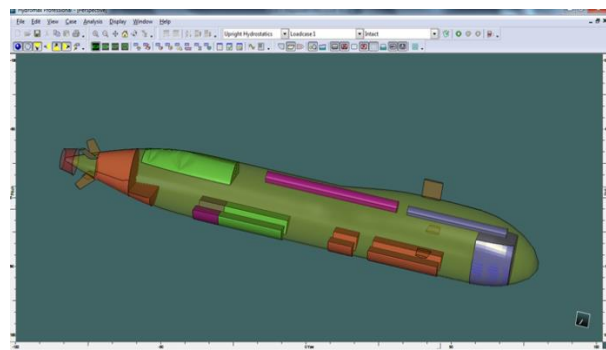
Gambar 4.8. .peletakan tangki sesudah di ubah (model 2)



Gambar 4.9. peletakan tangki sesudah di ubah (model 3)



Gambar 4.10. peletakan tangki sesudah di ubah (model 4)

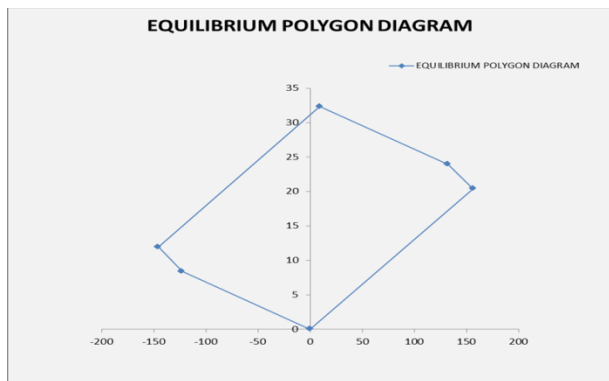


Gambar 4.11. peletakan tangki sesudah di ubah (model 5)

Tabel 4.5. kondisi batas pada equilibrium polygon dan hasil sesudah mengalami perubahan tangki

No	Loadcase Name	Weight (Ton)	LCB (m)	Momen (ton.m)
1	All Empty Tank	0.000	0.000	0.000
2	FP Main Ballast Tank Flood	20.380	7.663	156.172
3	FP Main Ballast Tank + Auxiliary Tank Flood	23.930	5.515	131.974
4	FP Main Ballast Tank + Auxiliary Tank Flood + AP Main Ballast Tank	32.340	0.280	9.055
5	FP Main Ballast Tank Empty	11.950	-12.198	-145.766
6	FP Main Ballast Tank + Auxiliary Tank Empty	8.410	-14.623	-122.979
7	All Empty Tank	0.000	0.000	0.000

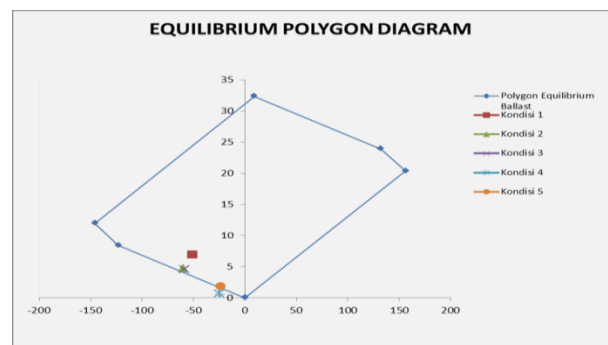
- Kondisi IV
Menerangkan kondisi kapal selam (misil 0%, LO 75%, Fuel with Flexible tank 75%, Fresh water 100%, provision dan stowage 50%, seawage 100%)
- Kondisi V
Menerangkan kondisi kapal selam (misil 100%, LO 75%, Fuel with Flexible tank 100%, Fresh water 75%, provision dan stowage 75%, seawage 100%)
- Kondisi VI
Menerangkan kondisi kapal selam (misil 100%, LO 75%, Fuel with Flexible tank 100%, Fresh water 50%, provision dan stowage 50%, seawage 100%)
- Kondisi VII
Menerangkan kondisi kapal selam (misil 100%, LO 75%, Fuel with Flexible tank 75%, Fresh water 100%, provision dan stowage 50%, seawage 100%)



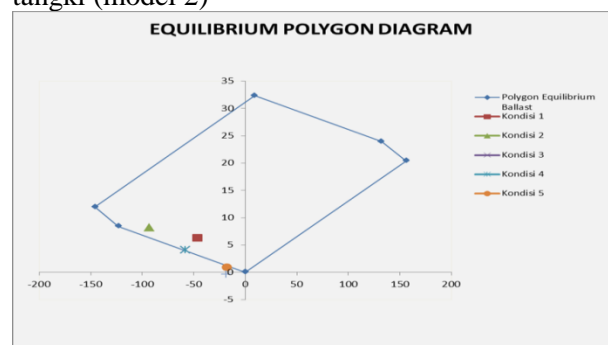
Grafik 4.4 Equilibrium Polygon Diagram Ballast Tank sesudah mengalami perubahan peletakan tangki

Setelah kondisi batas equilibrium di tetapkan maka tahap selanjutnya adalah menentukan berat dan momen tiap-tiap kondisi, apakah tiap-tiap kondisi nanti berada dalam batas equilibrium polygon setelah terjadi perubahan peletakan tangki, jawabanya dapat kita ketahui setelah di lakukan analisa berikut.

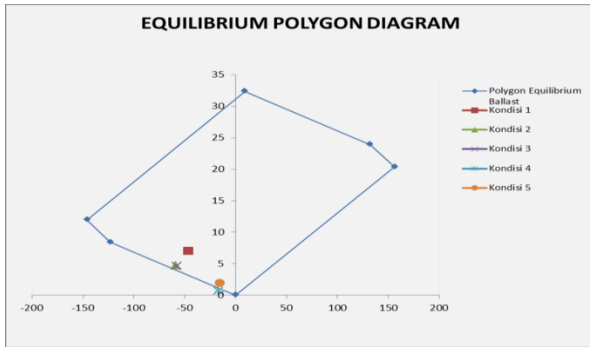
- Kondisi I
Menerangkan kondisi kapal selam (misil 100%, LO dan Fuel with Flexible tank 50%, Fresh water 50%, prvision dan stowage 50%, sewage 100%)
- Kondisi III
Menerangkan kondisi kapal selam (misil 100%, LO 50%, Fuel with Flexible tank 100%, Fresh water 50%, provision dan stowage 50%, seawage 100%)



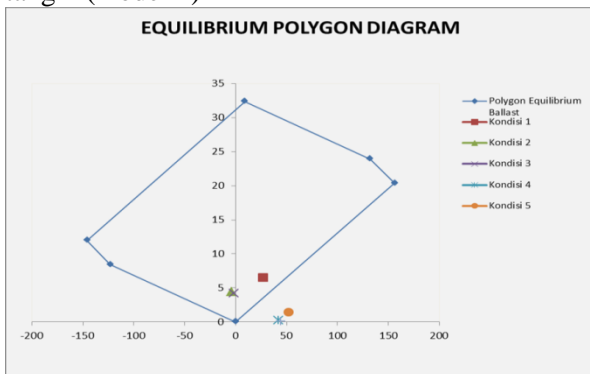
Grafik 4.5. Equilibrium Polygon Diagram All Tank sesudah mengalami perubahan peletakan tangki (model 2)



Grafik 4.6. Equilibrium Polygon Diagram All Tank sesudah mengalami perubahan peletakan tangki (model 3)



Grafik 4.7. Equilibrium Polygon Diagram All Tank sesudah mengalami perubahan peletakan tangki (model 4)



Grafik 4.8. Equilibrium Polygon Diagram All Tank sesudah mengalami perubahan peletakan tangki (model 5)

Dari grafik 4.3 dan 4.5 - 4.8 equilibrium polygon di atas dapat di simpulkan titik kondisi pembebanan yang paling ekstrim pada kapal selam, berada di luar batas equilibrium polygon setelah terjadi 4 macam model variasi perubahan peletakan tangki-tangki. Sehingga equilibrium kapal selam tersebut tidak baik setelah terjadi variasi peletakan tangki meskipun tanpa ada perubahan volume dan berat pada tangki tersebut. Jadi peletakan tangki pada kapal selam sangat berpengaruh pada equilibrium kapal selam.

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah penulis lakukan yaitu analisa stabilitas dan equilibrium kapal selam MIDGET 150, diperoleh kesimpulan bahwa:

1. Hasil analisa stabilitas kapal selam MIDGET 130 yang mengacu pada aturan IMO (international maritime Organization) dengan Code A.749(18) Criteria 3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater dan Criteria 3.1.2.4: Initial GMT. Hasil perhitungan secara keseluruhan menunjukkan bahwa stabilitas dari kapal selam MIDGET 150 dinyatakan memenuhi standar

yang ditetapkan oleh IMO. sehingga kapal selam tersebut memiliki stabilitas yang baik

2. Pada analisa equilibrium kapal selam MIDGET 150 dapat di nyatakan baik karena sudah di buktikan dalam pembuatan equilibrium polygon tiap-tiap titik kondisi pembebanan masuk dalam area batas polygon equilibrium kapal selam tersebut
3. Setelah terjadi 4 perubahan variasi (model 2 - 4)dalam peletakan tangki pada kapal selam tanpa merubah berat dan volume pada tiap tangki, dapat disimpulkan equilibrium kapal selam dinyatakan tidak baik karena dari 4 model titik kondisi pembebanan keluar dari area batas polygon equilibrium. Berbeda dengan sebelum terjadi perubahan peletakan tangki yaitu model 1. titik kondisi pembebanan berada didalam batas polygon equilibrium sehingga dapat di bandingkan sebelum dan sesudah terjadi perubahan, equilibrium kapal selam di nyatakan baik pada model

5.2. Saran dan Rekomendasi

Adapun saran dan rekomendasi penulis untuk penelitian lebih lanjut antara lain:

1. Perlu dilakukan analisa lebih lanjut, misalkan analisa kekuatan konstruksi kapal selam MIDGET 150.
2. Perlu untuk melakukan analisa menggunakan metode pendekatan lainnya atau metode bentuk seperti *CFD*

DAFTAR PUSTAKA

- a. Barrass, Bryan and Derrett, D.R. 2006. *Ship Stability for Master and Mates*. Great Britain: ElSevier.
- b. Biran, A.B. 2003. *Ship Hydrostatics and Stability*. USA: Butterworth-Heinemann.
- c. Daniel, R. J. 1983. *Considerations Influencing Submarine Design*, Paper 1, Int. Symp. on Naval Submarines, RINA, London.
- d. Evans, N.C. 1994. *Stability of Submarine*. Hong kong: Geotechnical Enggining Office.
- e. Group of Authorities. 1988. *Principles of Naval Architecture vol I*. New York: The Society of Naval Architecture and Marine Engineering.
- f. Goggins, David A. 2001. *Response surface methods applied to submarine concept exploration*. University of California, Berkeley.
- g. Hervey, J. B. 1994, *Submarines*, Brassey's, London.
- h. Historic Naval Ship Association, 2004. *Submarine trim and drain system* (online).(http:// Submarine trim and drain system-chapter1.htm)
- i. Joubert, P.N. 2004. *Some Aspects of Submarine Design Part 1*, DSTO Platforms Sciences Laboratory , Australia.
- j. Maritime park association. 2004. *Buoyancy and stability submarine*. (online. (http:// The Fleet Type Submarine - Chapter 5.htm).
- k. P Pekelney, Richard. 2011. *Bouyancy and stability Submarine*. (online). (<http://class of submarine.htm>)
- l. R. Blizzard, Christoper- Team Leader, 2008. *Design Report Ballistic Missile Defense Submarine SSBMD*, Virginia Tech Team 1, USA
- m. Shingler, Kristen-Team Leader, 2005. *Design Report Litoral Warfare Submarine(SSLW)*, Virginia Tech Team,USA.
- n. Sloan, G. 2006, *Trends in Submarine Operational and Design Requirements*, ASC Pty Ltd, International Maritime Conference. Sydney
- o. Yon, Ronda-Team Leader, 2006. *Design Report Guided Missile Submarine SSG(X)*, Virginia Tech Team 3, USA