

# PRA PERANCANGAN KAPAL SELAM WISATA DENGAN KAPASITAS 30 PENUMPANG UNTUK WILAYAH PERAIRAN WISATA BAWAH AIR TAMAN NASIONAL BUNAKEN, MANADO

Wahyu Adi Nugraha, Deddy Chrismianto, Ari Wibawa B. S. <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Program Studi Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

E-mail : akujudy@gmail.com

## Abstrak

Taman Nasional Bunaken (TNB) yang terletak di Kota Manado merupakan tujuan wisatawan manca negara untuk menikmati keindahan terumbu karang dan kekayaan spesies laut. Untuk meningkatkan daya tarik wisatawan dan membuat semua wisatawan dapat menikmati pemandangan bawah air TNB maka perlu dirancang kapal selam wisata untuk wilayah tersebut.

Dalam penelitian ini dibahas proses perancangan kapal dengan metode *Trend Curve Approach* dengan menggunakan perhitungan regresi linier sederhana. Perhitungan hambatan dilakukan dengan metode CFD, perhitungan stabilitas dihitung dengan kriteria dari IMO, hidrostatis dan equilibrium dibantu dengan perangkat lunak untuk perhitungan perkapalan.

Ukuran utama yang didapat adalah LOA=16.71 m, H=5.47 m, T=2.65 m, BOA=3.43 m. Nilai hambatan kapal selam yang didapat dengan perhitungan metode CFD untuk kondisi kapal menyelam adalah 1157.9 N untuk kecepatan 5 knot. Volume *Normal Surface Condition* (NSC) adalah 62.22 m<sup>3</sup> dan volume *submerged* adalah 66.97 m<sup>3</sup> dan seimbang dengan perhitungan berat. Nilai KB lebih besar daripada KG sehingga equilibrium statis terpenuhi. Skenario *ballast* kapal dapat mengantisipasi skenario pemuatan ekstrim kapal yang ditunjukkan oleh *polygon equilibrium*. Nilai stabilitas pada kondisi NSC memiliki nilai GZ maksimum sebesar 0.206 m pada sudut oleng 90° dan memenuhi kriteria IMO untuk *max GZ* dan *initial GMT*.

Kata Kunci: Kapal Selam Wisata, Bunaken, Regresi Linier sederhana, CFD (*Computational Fluid Dynamic*), Hambatan, *Polygon Equilibrium*

## Abstract

*Bunaken National Park (BNP) is international tourism destination to view wonderful coral and undersea species placed in Manado City, Indonesia. To increase tourism potential and makes everyone can see all the wonderful view in BNP so the solution needed is to design a tourism submarine for this tourism destination.*

*This research aim is to get principal dimension of the submarine with Trend Curve Approach method using simple linear regression calculation. Resistance analysis using CFD analysis, stability, hydrostatic and equilibrium calculated with naval software.*

*Principal dimension for this submarine is LOA=16.71 m, H=5.47 m, T=2.65 m and BOA=3.43 m. The submarine resistant value using CFD analysis is 1157.9 N for velocity 5 knot. Normal Surface Condition (NSC) volume is 62.22 m<sup>3</sup> and submerged volume is 66.97 m<sup>3</sup> and it is balanced with weight calculation. KB value is greater than KG so static equilibrium passed. Equilibrium polygon can ensure adequate variable ballast is available for all anticipated loading conditions. Stability at NSC has max GZ value is 0.206 m at heeling angle 90° and its passed IMO criteria for max GZ and initial GMT.*

*Keyword: Tourism Submarine, Bunaken, Simple Linier Regression, CFD, Resistant, Polygon Equilibrium*

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Taman Nasional Bunaken terletak di Segitiga Terumbu Karang, menjadi habitat bagi 390 spesies terumbu karang dan juga berbagai spesies ikan, moluska, reptil dan mamalia laut. Taman Nasional Bunaken merupakan perwakilan ekosistem laut Indonesia, meliputi padang rumput laut, terumbu karang dan ekosistem pantai. Pesona alam tersebut menjadi daya tarik sebagai destinasi wisata bawah air kelas dunia[5].

Taman Nasional Bunaken telah mengalami peningkatan wisatawan internasional setiap tahun dari 5194 jiwa pada tahun 2001 menjadi 13730 jiwa pada tahun 2009. Sedangkan untuk wisatawan domestik terdapat kenaikan dan penurunan setiap tahunnya dengan jumlah minimal setahun adalah 9872 jiwa pada tahun 2001 dan maksimal 31084 jiwa pada tahun 2003, kurun waktu terdata mulai tahun 2001 hingga tahun 2009 (statistik DPTNB, 2009)[5]. Potensi wisatawan internasional selalu meningkat, maka investasi besar untuk kawasan Taman Nasional Bunaken sangat menjanjikan.

Sudah beberapa kapal selam wisata yang telah beroperasi di seluruh dunia. Di Indonesia sudah terdapat satu kapal selam wisata di Bali. Dalam laporan ini akan dibahas mengenai perancangan kapal selam wisata untuk daerah Taman Nasional Bunaken, Manado.

### 1.2 Tujuan Penelitian

1. Membuat Rencana Umum kapal selam wisata yang sesuai untuk daerah perairan bawah air Taman Nasional Bunaken.
2. Menganalisa stabilitas, hambatan, hidrostatis kapal selam.
3. Menganalisa keseimbangan berat dan volume kapal dan *polygon equilibrium* kapal selam.

### 1.3 Batasan Penelitian

1. Perancangan kapal dengan menggunakan metode *Trend Curve Approach*. Kapal dirancang untuk kedalaman hingga 50 m.
2. Perencanaan meliputi bentuk lambung kapal, rencana garis dan rencana umum
3. Keluaran dari analisa kapal adalah fungsi hidrostatis, stabilitas, hambatan dan *polygon equilibrium* kapal.
4. Tidak melakukan pengujian menggunakan *Towing Tank*.

5. Tidak membuat gambar profil kapal.
6. Tidak menghitung kekuatan struktur kapal dan kekuaan memanjang kapal.
7. Tidak menghitung estimasi biaya pembuatan kapal dan analisa ekonomisnya.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Kapal selam wisata adalah kapal selam berawak yang memiliki fungsi mengangkut penumpang ke kedalaman tertentu untuk menikmati wisata bawah air. Kapasitas kapal bervariasi antara 2 orang hingga 66 orang. Kecepatan menyelam normal kapal selam wisata cukup rendah yaitu berkisar antara 1,5 hingga 5 knot.

Kapal selam dapat menyelam secara dinamis dan statis[8]. Untuk menyelam statis, kapal selam memiliki tangki pemberat yang dapat diisi dengan udara maupun air<sup>[4]</sup>.

Metode perancangan yang digunakan adalah *Trend Curve Approach* yaitu metode perancangan dengan menggunakan metode statistika dengan beberapa kapal pembanding sejenis. Jenis perhitungan yang digunakan adalah regresi linier dan dibandingkan dengan metode interpolasi Polinom Lagrange[6].

Ukuran utama didapat dengan metode regresi ukuran utama beberapa kapal pembanding dengan acuan menggunakan jumlah penumpang. Regresi linier adalah metode statistika yang digunakan untuk membentuk model hubungan antara variabel terikat (dependen; Y) dengan satu atau lebih variabel bebas (independen, X)[6].

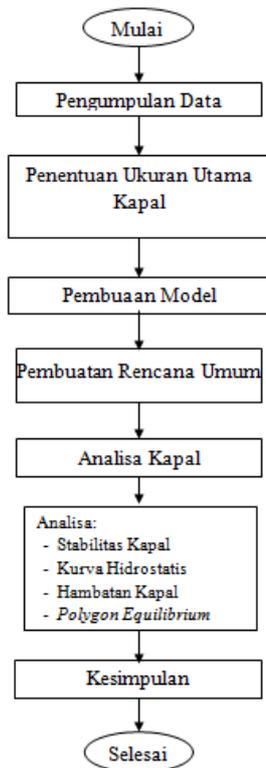
Hambatan kapal selam hanya dipengaruhi oleh hambatan gesek kapal sedangkan hambatan gelombang kapal tidak diperhitungkan selama kapal melaju di bawah air. Perhitungan Hambatan kapal menggunakan Program *Computational Fluid Dynamic* (CFD) menggunakan metode *VOF* (*Volume of Fluid*) atau *Finite Different Equation*. Metode ini menggunakan sistem koordinat kartesian dengan menyelesaikan persamaan Navier-Stokes[1].

Konsep *Equilibrium polygon* adalah metode grafis untuk memastikan apakah tanki *ballast* memadai untuk menagntisipasi semua kondisi muatan. Pada grafik *equilibrium polygon* terdapat dua sumbu yaitu sumbu-X menunjukkan moment ( $\bar{T}$ )n sedangkan sumbu-Y menunjukkan perubahan berat (Ton)[3].

Stabilitas kapal selam ketika di permukaan sama seperti stabilitas kapal pada umumnya. Stabilitas kapal adalah kemampuan kapal untuk dapat kembali ke kedudukan semula setelah mengalami olengan yang disebabkan oleh gaya-gaya dari luar yang mempengaruhinya. Stabilitas awal adalah stabilitas pada sudut oleng antara 10 -15°. Stabilitas ini ditentukan oleh 3 buah titik yaitu titik berat (*center of grafity*), titik apung (*center of bouyancy*), dan titik metasentra.

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah simulasi dengan bantuan komputer untuk pemodelan dengan berbasis CAD. Untuk perhitungan stabilitas, equilibrium dan hidrostatis menggunakan perangkat lunak analisa kapal. Untuk perhitungan hambatan kapal pada saat menyelam menggunakan simulasi komputasi dengan berbasis metode CFD.



Gambar 1. Flow Chart sederhana penelitian

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Penentuan Ukuran Utama Kapal Selam

Perhitungan regresi menggunakan perangkat lunak statistik untuk mendapatkan kurva regresi dan nilai ukuran utama. Selain

menggunakan metode regresi dihitung pula menggunakan metode Polinom Lagrange untuk validasi hasil perhitungan regresi yang diperoleh. Berikut table ukuran utama kapal pemanding dan ukuran utama yang diperoleh menggunakan acuan jumlah penumpang (PC) 30 orang.

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal Pemanding

NAMA KAPAL	PC	LOA (m)	HOA (m)	T (m)	B (m)
SPT-16	16	13.30	4.90	2.30	2.60
Nomad 1000T	36	19.70	5.80	2.70	3.70
Odessy	36	17.07	5.50	3.00	4.04
Deepstar	44	19.50	6.20	3.00	4.10

Tabel 2. Nilai B<sub>0</sub>, B<sub>1</sub>, signifikansi uji F dan uji T Metode Regresi Linier Sederhana

Y	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	Signifikansi	
			Uji F	Uji T
LOA	9.782	0.231	0.075	0.075
HOA	4.150	0.044	0.042	0.042
T	1.902	0.026	0.074	0.074
BOA	1.750	3.430	0.033	0.033
LWT	-3.969	2.137	0.001	0.001

Dari semua nilai signifikansi untuk uji T dan uji F dari tabel di atas menunjukkan bahwa *p-value* lebih kecil daripada nilai  $\alpha$  yang ditentukan oleh penulis yaitu 0.1 atau 10% maka H<sub>0</sub> uji t dan uji F ditolak sehingga model cocok dan nilai X memiliki pengaruh signifikan terhadap Y. Selanjutnya untuk mengetahui nilai ukuran utama nilai B<sub>0</sub> dan B<sub>1</sub> dimasukan dalam rumus:

$$Y = B_0 + X \cdot B_1 \quad (1)$$

Tabel 3. Hasil Perhitungan ukuran utama (Y) menggunakan perhitungan regresi linier sederhana

Y	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	Y=B <sub>0</sub> +X·B <sub>1</sub>
LOA	9.782	0.231	16.71 m
HOA	4.150	0.044	5.47 m
T	1.902	0.026	2.68 m
BOA	1.750	3.430	3.43 m
LWT	-3.969	2.137	60.14 ton

Tabel 4. Perbandingan ukuran utama kapal baru metode regresi linier sederhana dan metode polinom lagrange

Ukuran Utama	Regresi (m)	Polinom Lagrange (m)	Selisih Hasil (%)
LOA	16.71	16.37	2.03 %
HOA	5.47	5.15	5.85 %
T	2.68	2.9	8.21 %
BOA	3.43	3.8	10.78 %

Dari rentang perbandingan ukuran utama kapal perbandingan dibandingkan dengan perbandingan ukuran utama dari metode regresi ditunjukkan dalam tabel 5 berikut.

Tabel 5. Perbandingan Rentang Parameter Ukuran Utama Kapal Perbandingan dengan Ukuran Utama yang Didapat

	Kapal Perbandingan	Kapal Baru	Keterangan
L/B	4.22 - 5.32	4.87	Memenuhi
L/T	5.69 - 7.29	6.23	Memenuhi
L/H	2.71 - 3.40	3.06	Memenuhi
B/T	1.13 - 1.37	1.28	Memenuhi
H/T	1.83 - 2.15	2.04	Memenuhi

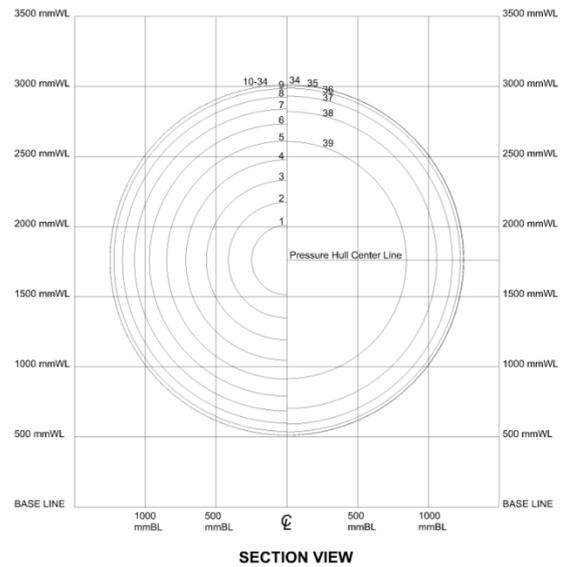
Tabel 5 menunjukkan rentang parameter ukuran utama kapal dari beberapa data kapal yang diperoleh. Ukuran kapal baru yang diperoleh masuk dalam rentang yang dibentuk oleh ukuran utama kapal perbandingan.

Dari tabel 3 dan tabel 4 ditentukan ukuran utama kapal selam menggunakan metode regresi berupa panjang total kapal (LOA), tinggi total kapal (HOA), kondisi sarat penuh NSC (T) dan lebar total kapal (BOA). Berikut nilai ukuran utama yang diperoleh:

Panjang Keseluruhan (LOA) : 16,71 m  
 Tinggi keseluruhan (HOA) : 5,47 m  
 Sarat Kapal (T) : 2,68 m  
 Lebar Keseluruhan (BOA) : 3,43 m

#### 4.2 Rencana Garis dan Pemodelan

Pembuatan rencana garis untuk *pressure hull* kapal menggunakan pemodelan dibantu perangkat lunak CAD. Rencana garis berupa gambar perencanaan *pressure hull* kapal tanpa ada tambahan tonjolan tambahan (*appendages*). Berikut rencana garis kapal tampak dari depan (*section view*):



Gambar 2. Rencana garis kapal selam *section view*. Bagian kanan menunjukkan rencana garis kapal bagian depan sedangkan bagian kiri untuk bagian belakang kapal

Dari rencana garis tersebut dibuat model 3D menggunakan perangkat lunak CAD sedangkan untuk dianalisa selanjutnya menggunakan perangkat lunak perhitungan kapal dan perangkat lunak CFD *pressure hull* yang dibentuk:



Gambar 3. Bentuk lambung (*pressure hull*) kapal selam menggunakan perangkat lunak CAD

#### 4.3 Perencanaan Tanki dan Rencana Umum

Perencanaan tanki pada kapal selam tersebut terbagi menjadi tiga jenis tanki yaitu:

1. Tanki *ballast* utama yang terletak di bawah ruang navigasi di bagian depan kapal dan tanki *ballast* utama yang terletak di bagian belakang di bawah ruang mesin. Fungsi tanki ini untuk membuat kapal menyelam dengan mengisi air pada kedua tanki tersebut.
2. Tanki *ballast* bantu yaitu terletak di depan tanki *ballast* tetap dan di belakang tanki *ballast* tetap. Tanki tersebut terpisah dan memiliki masing masing dua tanki di *portside* dan dua tanki di *starboard*. Fungsi

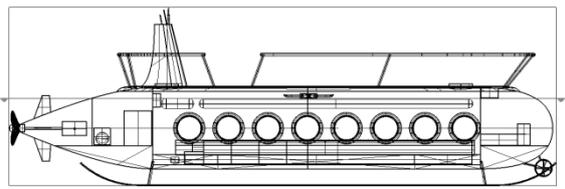
tanki ini untuk membantu tanki *ballast* utama untuk memberi efek trim yang dibutuhkan dengan cara mengisi hanya bagian depan atau hanya bagian belakang.

3. Tanki *ballast* tetap terletak diantara tanki *ballast* bantu. Tanki tersebut terletak di bawah ruang penumpang. Tanki tersebut memiliki satu tanki di *starboard* dan satu di *portside* Tanki *ballast* tetap yaitu tanki yang berfungsi untuk membuat kapal berada pada kondisi NSC pada saat di permukaan.

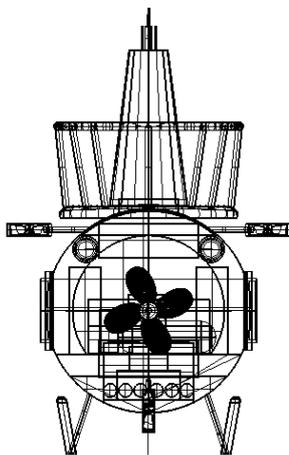


Gambar 4. Perencanaan Tanki *Ballast* Tampak atas (atas) dan tampak samping (bawah)

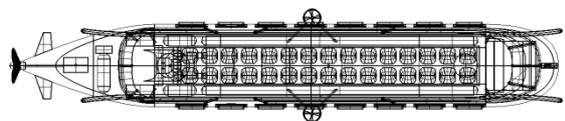
Rancangan rencana umum kapal selam sesuai dengan misi yang direncanakan ditunjukkan oleh gambar berikut:



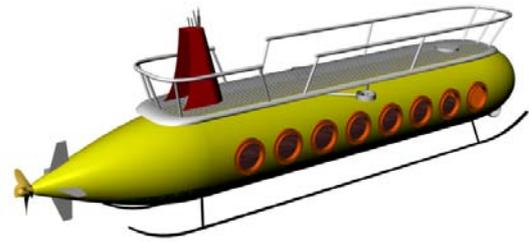
Gambar 5. Rencana Umum Tampak Samping



Gambar 6. Gambar rencana umum tampak depan



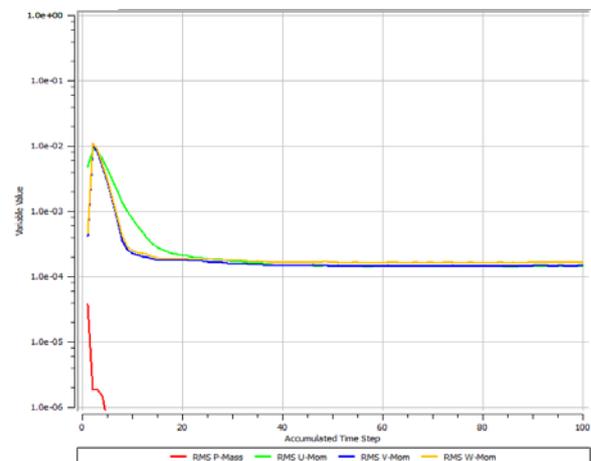
Gambar 7. Rencana Umum Tampak Atas



Gambar 8. Gambar 3D kapal selam tampak samping-belakang

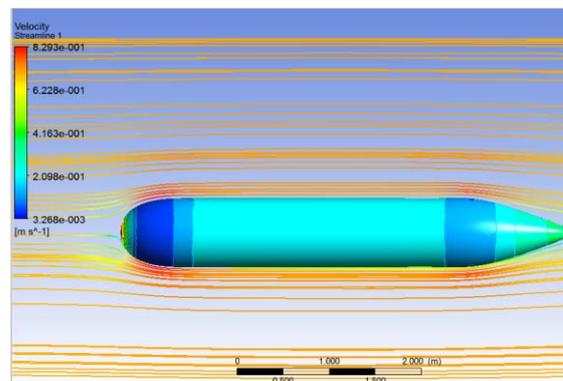
#### 4.4 Perhitungan Hambatan

Penentuan hambatan total kapal selam dihitung pada saat kapal menyelam. Model yang dihitung adalah model lambung utama (*pressure hull*) dengan kecepatan 5 knot.

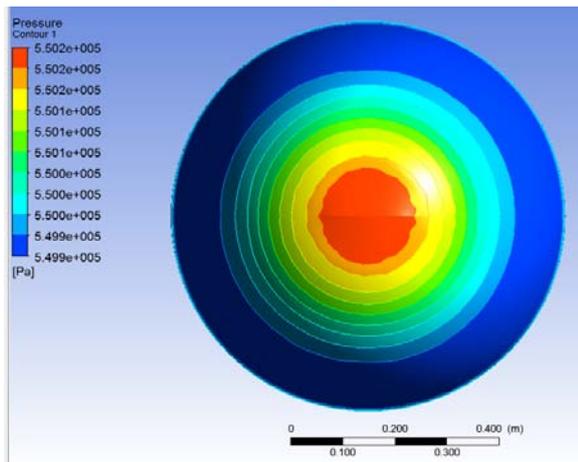


Gambar 9. Grafik nilai variabel kesalahan berbanding pengulangan perhitungan

Grafik diatas menunjukkan grafik proses penghitungan pada tahap *solution* di program berbasis CFD. Grafik tersebut menunjukkan bahwa hasil perhitungan sudah memiliki ketelitian sebesar 99,97%



Gambar 10. Aliran fluida (*stream line*) yang pada kecepatan 5 knot



Gambar 11. Kontur Tekanan yang terjadi pada lambung, gambar di atas merupakan bagian haluan kapal

Penentuan hambatan menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$F_{n_m} = F_{n_A} \quad (2)$$

$$C_{t_m} = C_{t_A} = C_t \quad (3)$$

Selanjutnya nilai persamaan di atas digunakan untuk penentuan Setup pada Software CFD untuk merumuskan nilai hambatan total model ( $R_t$ ).

$$R_{t_m} = 0,5 \cdot \rho \cdot v_m^2 \cdot WSA_m \cdot C_t \quad (4)$$

$$C_t = R_{t_m} / (0,5 \cdot \rho \cdot v_m^2 \cdot WSA_m) \quad (5)$$

Nilai  $C_{tm}$  didapat dari hasil analisa menggunakan software CFD. Nilai hambatan total kapal dapat dihitung menggunakan rumus berikut dengan mensubstitusikan hasil  $C_{tm}$  dari analisa CFD sebesar 0,0017006 ke rumus perhitungan hambatan total lambung kapal.

$$R_{t_{BH}} = (0,5 \cdot \rho \cdot v_A^2 \cdot WSA_A \cdot C_t) \quad (6)$$

$$R_t = R_{t_{BH}} + R_{t_{App}} \quad (7)$$

Menurut ketentuan dari buku *Concepts in Submarine Design*<sup>[4]</sup> nilai hambatan pada tonjolan diluar lambung kapal atau disebut juga *appendages*  $R_{t_{App}}$  adalah sebesar  $\pm 32\%$  dari  $R_{t_{BH}}$ .

$$R_{t_{App}} = 0.32 R_{t_{BH}} \quad (7)$$

$$R_t = R_{t_{BH}} + 0.32 R_{t_{BH}} = 1157.9 \text{ N} \quad (10)$$

Tabel 6. Perbandingan hasil perhitungan CFD dan perhitungan empiris hambatan

Metode	RT (N)	Selisih (N)	Nilai error (%)
CFD	1157.9	-	-
Hughes-Prohaska <sup>[2]</sup>	1281.5	123.6	9.64%
Holtrop <sup>[7]</sup>	1260.4	102.5	8.13%

Nilai perhitungan hambatan kapal menggunakan metode CFD memiliki nilai error kurang dari 10% jika dibandingkan dengan perhitungan empiris Hughes-Prohaska dan Holtrop. Dengan demikian hasil perhitungan hambatan kapal menggunakan metode CFD valid. Nilai hambatan total kapal adalah sebesar 1157.9 N.

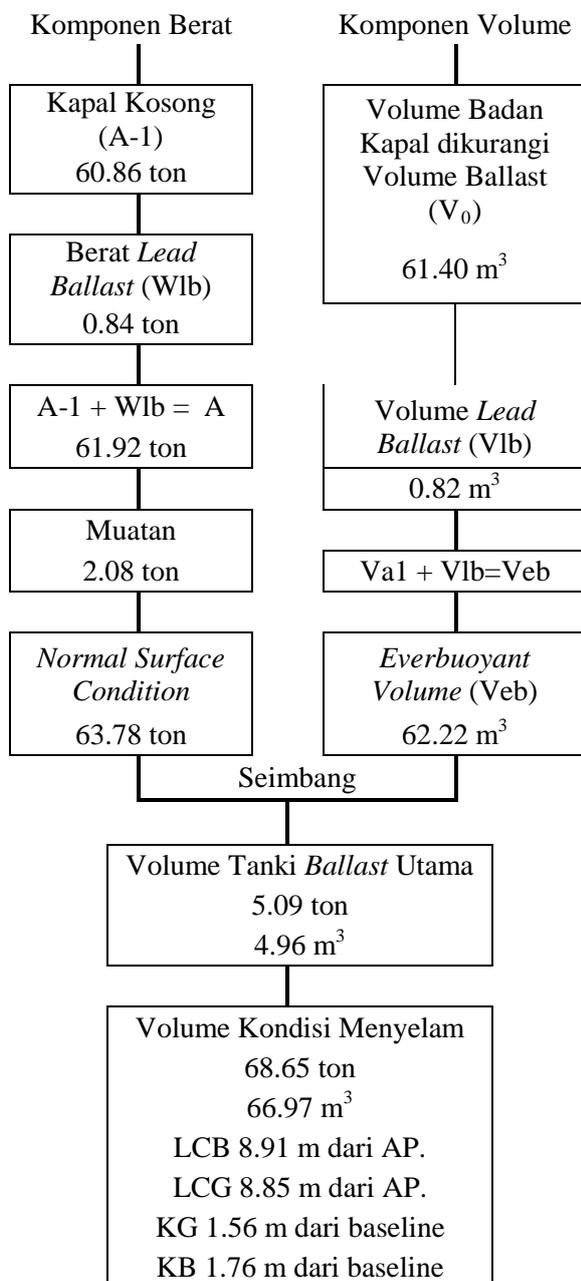
#### 4.5 Perhitungan Berat

Keseimbangan antara berat dan volume tercelup kapal selam terdapat pada dua kondisi yaitu kondisi permukaan normal (NSC) dan kondisi menyelam (*submerged*). Pada kondisi NSC kapal selam mengapung di perairan pada keadaan sarat penuh. Sedangkan pada kondisi menyelam kapal selam memiliki berat air yang dipindahkan oleh badan kapal yang tercelup sama dengan berat kapal beserta isinya. Sebuah kapal selam dapat dikatakan seimbang jika equilibrium statisnya pada keadaan berat kapal harus sama dengan buoyancy kapal begitu pula dengan LCB kapal harus sama dengan LCG kapal. Estimasi berat pada kondisi menyelam dapat ditentukan dari kondisi A + muatan + tanki *ballast* utama. Sedangkan perkiraan volume pada kondisi menyelam ditentukan oleh *pressure hull* yang didalamnya terdiri atas tanki ballas utama, ruangan dan *lead ballast*.

Tabel 4.14. Perhitungan Berat Pada Kondisi NSC

Kode	Kategori Berat	Berat Satuan (Ton)	Total Berat Kondisi (Ton)
	Lambung Utama	21.129	
	Sistem Propulsi	1.750	
	Permesinan & sistem bantu	14.050	
	Kelistrikan & Navigasi	19.260	
	<i>Outfitting &amp; Furnishing</i>	4.675	
A-1	Berat Kapal Kosong		60.864
	<i>Lead Ballast (PS)</i>	0.418	
	<i>Lead Ballast (SB)</i>	0.418	
A	A-1 + <i>Lead ballast</i>		61.700
	Total Berat Muatan	2.080	
NSC	<i>Normal Surface Condition</i>		63.780

Berikut ini gambar keseimbangan berat dan volume tercelup kapal selama ditunjukkan oleh gambar 12 berikut:



Gambar 12. Diagram Keseimbangan Berat dan Volume

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa *displacement* menyelam kapal adalah 68.65 ton dengan letak LCG 8.85 m dari ujung belakang dan LCB 8.91 m dari ujung belakang. Hal tersebut menunjukkan bahwa letak LCB dan LCG sangat berdekatan dengan perbedaan - 0.69% LCG. Sedangkan nilai KB lebih besar daripada KG sehingga equilibrium statis terpenuhi.

#### 4.6 Equilibrium Polygon

Equilibrium polygon adalah metode grafik untuk memastikan apakah tanki *ballast* memadai untuk menagntisipasi semua kondisi muatan. Pada grafik equilibrium polygon terdapat dua sumbu yaitu sumbu-X menunjukkan moment (Ton) sedangkan sumbu-Y menunjukkan perubahan berat (Ton)<sup>[3]</sup>. Equilibrium polygon dibuat berdasarkan variabel tanki yang ada karena batas-batas pada polygon terdiri dari kondisi ekstrim tanki. Berikut ini pembagian tanki menurut buku *Principles of Naval Architecture volume I*<sup>[7]</sup>:

1. Tanki trim depan
2. Tanki trim belakang
3. Tanki bantu (*aux. tank*)

Skenario variabel *ballast* untuk membentuk batas *polygon equilibrium* dapat ditentukan melalui 7 tahap berikut:

1. Semua tanki kosong
2. Tanki depan penuh
3. Tanki depan penuh + Tanki bantu
4. Semua tanki penuh
5. Tanki depan kosong
6. Tanki depan kosong + Tanki bantu
7. Semua tanki kosong

Hasil perhitungan titik berat dan berat semua skenario variabel tanki *ballast* dapat dilihat pada tabel 7 dan tabel 8. Setelah semua kondisi muatan ekstrim diplot dalam grafik bersamaan dengan *polygon boundary* didapatkan polygon equilibrium pada gambar 14.

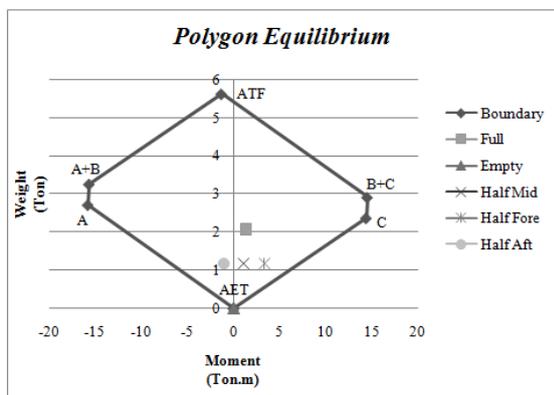
Kondisi muatan ditentukan terlebih dahulu dan ditampilkan menjadi titik-titik kondisi pada sistem, merefleksikan jumlah berat dan momen yang dibutuhkan pada setiap kondisi untuk diseimbangkan dengan sistem *ballast* yang tersedia.

Tabel 7. Perhitungan berat dan momen kondisi ekstrim muatan

Kode	Kondisi Ekstrim	Berat (ton)	Momen (ton·m)
<i>Full</i>	<i>Full Load</i>	2.080	1.344
<i>Empty</i>	<i>Empty Load</i>	0.000	0.000
<i>Half Mid</i>	<i>16 Passanger Middle Seat &amp; 2 Pilot</i>	1.170	1.117
<i>Half Fore</i>	<i>16 passanger Fore Seat &amp; 2 Pilot</i>	1.170	3.319
<i>Half Aft</i>	<i>16 passanger Aft Seat &amp; 2 Pilot</i>	1.170	-1.085

Tabel 8. Perhitungan berat dan momen kondisi batas kondisi pemuatan tanki

Kondisi Tanki	Berat (ton)	Momen (ton·m)
All Empty Tank	0.000	0.000
Aft. Tank Flood (A)	2.717	-15.851
(A) + Auxiliary Tank Flood (B)	3.261	-15.726
ALL Tank Flood (A + B + C)	5.632	-1.339
(B) + Fore Tank Flood (C)	2.915	14.512
Fore Tank Flood (C)	2.371	14.387
All Empty Tank	0.000	0.000

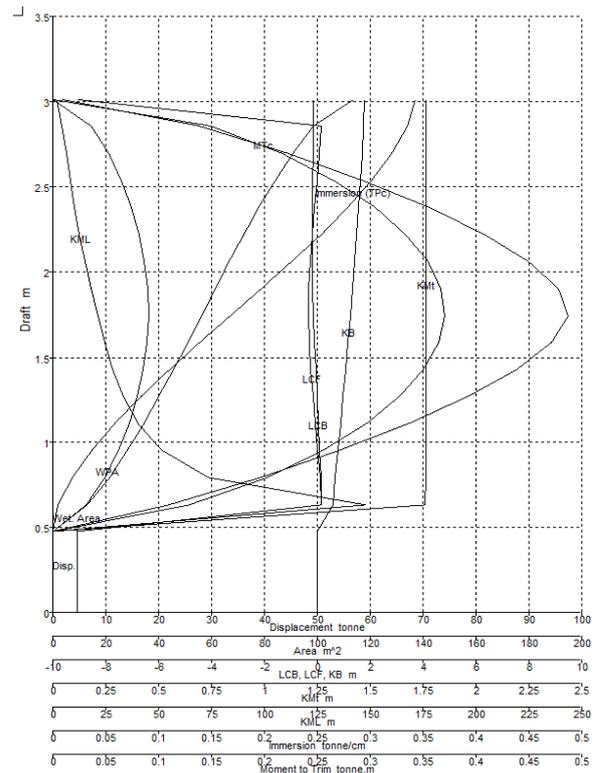


Gambar 12. Polygon Equilibrium Kapal Selam.

Gambar 14 menunjukkan Sumbu X berupa moment dan sumbu Y berupa berat. *Boundary* dibuat dari kondisi batas tanki pada tabel 5. Sedangkan titik-titik di atas merupakan kondisi ekstrim kapal. Semua kondisi ekstrim berada di dalam *boundary* sehingga tanki *ballast* memadai untuk menagntisipasi semua kondisi muatan.

#### 4.7 Perhitungan Hidrostatik Pada Kondisi Tenggelam

Perhitungan hidrostatik menggam-barkan karakteristik pada kondisi menyelam. Pembuatan kurva hidrostatik dihitung dari dasar hingga tinggi maksimum (lambung) kapal selam ketika menyelam. Kondisi menyelam adalah total *displacement* kapal selam yang menghitung volume *pressure hull* yang di dalamnya juga terdapat tanki ballast dan ruang permesinan sedangkan volume bagian *freeflood* (seperti baling-baling, kemudi, perlengkapan dek, dll.) tidak diperhitungkan. Gambar kurva hidrostatik sesuai perhitungan hidrostatik ditampilkan dalam gambar



Gambar 13. Kurva hidrostatik kapal selam pada keadaan menyelam

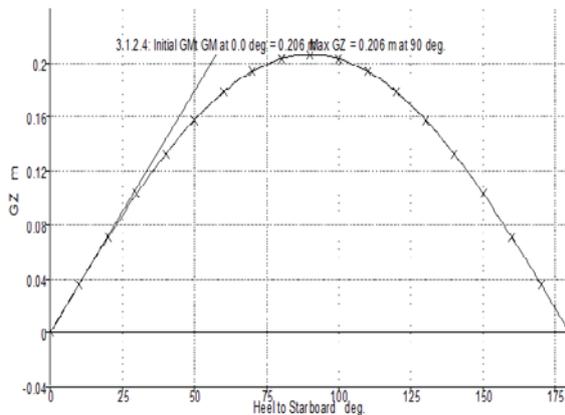
Dari kurva hidrostatik dapat diketahui nilai *displacement* sebesar 68,59 ton, nilai KB 1.76 meter sedangkan dari perhitungan titik berat didapat nilai KG 1.59 meter. Jarak vertikal antara titik B ke G lebih besar dari 0,05 meter yaitu sebesar 0.17 meter maka berdasarkan Aturan Kalsifikasi Dan Konstruksi Kapal Selam Berawak Germanische Lloyd Bab III mengenai Stabilitas dan *Buoyancy* dinyatakan memiliki stabilitas kondisi menyelam yang baik. Kurva hidrostatik dapat dilihat pada gambar 13.

#### 4.8 Equilibrium Polygon

#### 4.9 Perhitungan Stabilitas

Perhitungan stabilitas pada sudut oleng besar dihitung pada keadaan mengapung (NSC) sedangkan dalam kondisi menyelam nilai stabilitas dinyatakan stabil berdasarkan Aturan Kalsifikasi Dan Konstruksi Kapal Selam Berawak Germanische Lloyd Bab III mengenai Stabilitas dan *Buoyancy* yaitu dengan jarak vertikal antara titik B ke G lebih besar dari 0,05 meter. Tujuan menghitung stabilitas kapal selam pada kondisi NSC yaitu untuk melihat kemampuan kapal untuk kembali ke posisi

semula setelah terjadi olengan pada kondisi terapung.



Gambar 14. Kurva GZ dan GMt kapal pada NSC

Hasil perhitungan stabilitas termasuk nilai GZ maksimum dan nilai GMt memenuhi kriteria IMO. Rangkuman hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 6 berikut.

Tabel 9. Hasil perhitungan stabilitas untuk kondisi NSC

<i>Normal Surface Condition (NSC)</i>	
Berat	64.00 Ton
LCG	8.892 m
VCG	1.587 m
GZ maksimum	0.206 m
Kriteria IMO	Memenuhi
<i>Initial</i> GMt	0.206 m
Kriteria IMO	Memenuhi

Berdasarkan tabel diatas kapal tersebut memiliki nilai GZ maksimum yang memenuhi kriteria IMO dan nilai GMt yang memenuhi kriteria IMO.

## 5. KESIMPULAN

Dari pra perancangan kapal selam wisata dengan kapasitas 30 penumpang untuk wilayah perairan wisata bawah air Taman Nasional Bunaken, Manado dengan menggunakan metode perancangan *trend curve approach* menghasilkan beberapa hal, yaitu:

- 1.a. Dengan metode penghitungan ukuran utama menggunakan regresi linier sederhana didapat ukuran utama kapal yaitu LOA = 16.71 m, HOA = 5.47 m, T = 2.68 m, B = 3.43 m.

- 1.b. Gambar rencana garis, rencana umum dan model secara lengkap dapat dilihat pada laporan.
- 2.a. Perhitungan stabilitas kapal pada kondisi NSC memiliki nilai GZ maksimum 0.206 m pada sudut oleng 90° dan memenuhi kriteria IMO untuk max GZ dan *Initial* GMt
- 2.b. Dengan perhitungan hambatan menggunakan metode CFD didapat nilai hambatan total kapal selam ( $R_t$ ) = 1157.9 N dengan nilai error 0.03%.
- 2.c. Pada kondisi menyelam karakteristik hidrostatik kapal antara lain; nilai *displacement* sebesar 68.65 ton, nilai KB 1.76 meter dan dari perhitungan titik berat didapat nilai KG 1.59 meter.
- 3.a. Keseimbangan berat dan volume ditentukan untuk mengetahui *ballast* yang dibutuhkan untuk menyelam. Pada keadaan NSC berat kapal 63.78 ton dan volume 62.22 m<sup>3</sup>. Pada kondisi menyelam *displacement* 68.65 ton dan volume 66.97 m<sup>3</sup>. Volume *main ballast* 4.96 m<sup>3</sup> sudah memenuhi untuk membuat kapal menyelam.
- 3.b. Kondisi pemuatan ekstrim masih terdapat dalam *Polygon equilibrium* kapal selam sehingga pada kondisi pemuatan ekstrim kapal masih dapat mempertahankan nilai trim pada kondisi menyelam atau di permukaan.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Anderson, *Computational Fluid Dynamic*, Maryland, USA: Maryland Press, 1995
- [2] V. Bertram, *Practical Ship Hydrodynamics*, Oxford, England: Butterworth-Heinemann, 2000
- [3] C. Blizzard, *Research Report Unpublished* [Design Report Ballistic Missile Defense Submarine SSBMDE], Virginia Tech Aerospace and Ocean Engineering, USA, 2008
- [4] R. Burcher, L. Rydill, *Concepts in Submarine Design*, New York: USA:Cambridge University Press, 1994
- [5] W. Khairunnisa, *Research Report Unpublished* [Evaluasi pengelolaan lanskap Wisata Bahari Taman Nasional Bunaken Sulawesi Utara], Bogor

- Agricultural University, Indonesia, 2011
- [6] D. Kurniawan, *Regresi Linier*, Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2008
- [7] E. V. Lewis, "Resistance, Propulsion and Vibration," *Principles of Naval Architecture*, New Jersey, USA: The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1988
- [8] Offley, Ed. "Submarine." Microsoft® Student 2009 [DVD]. Redmond, WA: Microsoft Corporation, 2008.
- [9] K. Shingler, *Research Report Unpublished* [Advanced Tactics Littoral Alternative Submarine Ocean Engineering Design Project], Virginia Tech Areospace and Ocean Engineering, USA, 2005