



Perancangan Kapal Selam Wisata dengan Kapasitas 25 Penumpang

Mohammad Fiqran Dzikhriansyah Setiawan¹⁾, Deddy Chrismianto¹⁾, Berlian Arswendo Adietya¹⁾

¹⁾Laboratorium Perancangan Kapal dibantu Komputer

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

e-mail : mohammadfiqrandzikhriansyah@gmail.com, deddychrismianto@yahoo.co.id, berlian@undip.ac.id

Abstrak

Indoensia adalah negara kepulauan dengan 2/3 wilayahnya adalah perairan. Karena memiliki wilayah perairan yang luas tentu menjadikan wisata bawah laut memiliki daya tarik tersendiri dengan adanya terumbu karang yang menjadi habitat bagi berbagai spesies ikan dan biota laut lainnya. Dalam upaya meningkatkan potensi wisata bahari di Indonesia, kapal selam wisata dirasa bisa menjadi daya tarik baru untuk dapat menikmati keindahan bawah laut. Pada penelitian ini membahas perancangan kapal dengan metode perhitungan regresi linear sederhana, dengan analisis hambatan, stabilitas dan polygon equilibrium. Sehingga didapatkan ukuran utama kapal berupa LOA = 12.1 m, H = 3.837 m, B = 3.13 m dengan kapasitas penumpang berjumlah 25 orang. Kapal yang memiliki nilai hambatan sebesar 5772.56 N pada kecepatan 3 knots dan memiliki berat 54.62 ton pada saat kondisi menyelam, serta memiliki nilai GZ max = 0.287 m dan Initial GMt = 0.256 m pada sudut oleng 90° yang memenuhi kriteria IMO untuk nilai maksimum GZ dan initial GMt pada saat melakukan docking maupun pengisian udara di permukaan.

Kata Kunci : perancangan kapal selam, stabilitas, hambatan, polygon equilibrium

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang menjadi destinasi favorit wisatawan mancanegara untuk melihat keindahan alamnya, terutama wisata baharinya. Karna merupakan negara kepulauan terbesar [1] tentu saja menjadikan Indonesia memiliki banyak pantai dan juga destinasi wisata bahari yang terbentang dari Sabang sampai Merauke. Wisatawan dapat melihat berbagai jenis ikan, terumbu karang dan juga biota laut lainnya yang bahkan tidak ada di negara lain [2].

Terdapat berbagai jenis fasilitas wisata untuk menikmati keindahan laut, namun untuk dapat menikmati keindahan bawah laut wisatawan hanya dapat melakukannya dengan cara melakukan *snorkeling* ataupun *diving*. Sehingga beberapa wisatawan tidak dapat menikmati keindahan bawah laut dari banyak perairan di Indonesia.

Salah satu alat yang bisa membantu manusia untuk berada di bawah adalah kapal selam dimana kapal selam bisa digunakan sebagai sarana observasi bawah laut yang cukup berbahaya jika dilakukan langsung oleh manusia [3]. Kapal selam

ini bisa menjadi inovasi wisata bawah laut yang bisa menjadi solusi agar wisatawan dapat menikmati keindahan bawah laut tanpa harus melakukan *snorkeling* maupun *diving*, seperti halnya kapal selam wisata yang ada di beberapa negara seperti di Maldives, Hawaii, Jamaica bahkan di Indonesia tepatnya di Bali sudah ada 1 kapal selam wisata bernama *Odyssey Submarine*, yang dapat menyelam hingga kedalaman 50 meter dibawah permukaan laut.

Pada penelitian sebelumnya, pernah dilakukan perancangan kapal selam wisata untuk wilayah Taman Nasional Bunaken di Manado yang memiliki kapasitas 30 penumpang dengan adanya analisis yang di lengkapi dengan gambar rencana garis dan rencana umum serta analisis hambatan dan berat kapal [4]. Pengembangan dari perancangan tersebut dengan melakukan perubahan pada jumlah penumpang menjadi 25 penumpang dan juga perubahan wilayah perairannya.

Untuk dapat membuat sebuah kapal hal yang biasa dilakukan pertama kali adalah pembuatan *preliminary design*, yang merupakan tahapan awal

perancangan berdasarkan karakteristik teknis yang sesuai dengan spesifikasi kebutuhan fungsi dari kapal tersebut. Pada umumnya *preliminary design* mencakup penentuan ukuran utama, pembuatan lambung kapal, pemilihan mesin pendorong utama, mesin bantu, pembuatan rencana umum, *cargo handling*, desain struktur serta kekuatan memanjang, stabilitas, dan perhitungan berat muatan [5].

Analisis perhitungan berat menjadi salah satu kunci dalam perancangan kapal selam untuk dapat membuat kapal tersebut dapat berada pada kondisi menyelam [6]. Hal ini juga menjadi pertimbangan besar dalam penentuan rencana umum kapal selam kecil karena penentuan ruangan seperti tangki, ruang mesin, ruang muatan, dan ruang navigasi memiliki peran besar dalam menentukan berat dan juga volume kapal [7].

Hasil analisis hambatan sangat dipengaruhi oleh bentuk dari lambung kapal, yang akan digunakan untuk dapat menentukan mesin penggerak utama yang sesuai dengan kebutuhan dan dapat bekerja secara efisien [8].

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran, serta sebuah konsep *preliminary design* dari kapal selam sebagai sarana wisata bawah laut di perairan Indonesia.

2. METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini berupa pengumpulan data-data primer dan sekunder serta teori dan juga referensi yang menjadi dasar dalam penelitian perancangan kapal selam ini. Data dalam penelitian ini didapatkan dari berbagai sumber mulai dari buku, website, jurnal dan juga karya ilmiah yang sebelumnya sudah dilakukan, lalu dilanjutkan dengan melakukan perancangan dan melakukan analisis pada hasil perancangan tersebut hingga akhirnya didapatkan design akhir dari kapal selam.

2.1. Metode Perancangan Kapal

Dikarenakan terbatasnya jumlah dan informasi mengenai kapal selam pariwisata maka perancangan dilakukan melalui pertimbangan jumlah penumpang dengan menggunakan regresi linear sederhana dalam menentukan panjang kapal, penyesuaian ukuran dengan fungsi kapal selam wisata, dan konfigurasi rencana umum dari beberapa kapal selam yang sudah ada, baik itu berupa data ukuran utama, rencana umum, foto, dan desain rencana garis.

2.2. Analisis dan Pengolahan Data

Pengolahan data yang dilakukan secara runtun dengan membuat *lines plan*, melakukan perhitungan hidrostatis, menghitung stabilitas, hambatan kapal, pembuatan rencana umum dari kapal selam dan perhitungan *polygon equilibrium* kapal.

1. Mengumpulkan data kapal selam pembanding yang memiliki fungsi yang sama sebagai kapal wisata, untuk mendapatkan ukuran utama kapal baru menggunakan regresi linear sederhana.
2. Pembuatan rencana garis dan permodelan 3D dengan bantuan software CAD dan juga NURBS.
3. Analisis hambatan kapal selam dengan menggunakan metode CFD dengan bantuan software Ansys Fluent.
4. Pembuatan rencana umum dan juga tangki dengan menggunakan software CAD
5. Perhitungan hidrostatis kapal dan juga stabilitas menggunakan maxsurf.
6. Perhitungan *polygon equilibrium* dari kapal selam.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Penentuan Ukuran Utama Kapal

Untuk menentukan kapal selam yang sesuai dengan kebutuhan maka ditentukan terlebih dahulu 5 kapal pembanding yang memiliki jumlah penumpang mendekati target perancangan sebanyak 25 penumpang beserta dengan ukuran utamanya yang tercantum pada Tabel 1.

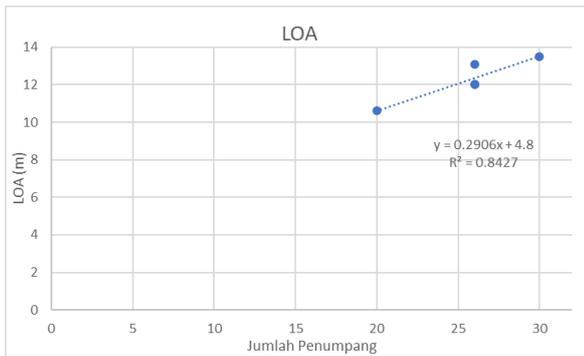
Tabel 1. Data Kapal Pembanding

No	Nama Kapal	LOA (m)	Jml. Penumpang
1	Mergo-30	13.5	30
2	ECO-SUB	13.1	26
3	SDE26-100	12	26
4	MP26-100	12	26
5	Mergo-20	10.6	20

Dari perhitungan regresi linear didapatkan nilai R^2 , yang menunjukkan jumlah penumpang sangat mempengaruhi nilai LOA kapal. Yang dapat dilihat pada Gambar 1. dan Tabel 2.

Tabel 2. Nilai B_0 , B_1 , dan R^2

Y	B_0	B_1	R^2
LOA	4.8	0.290	0.8247



Gambar 1. Grafik regresi linear.

Dengan menggunakan regresi linear sederhana dimana jumlah penumpang dijadikan variabel terikat X dan LOA sebagai variabel bebas Y maka didapatkan ukuran utama kapal baru pada Tabel 3. Dengan menggunakan rumus :

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

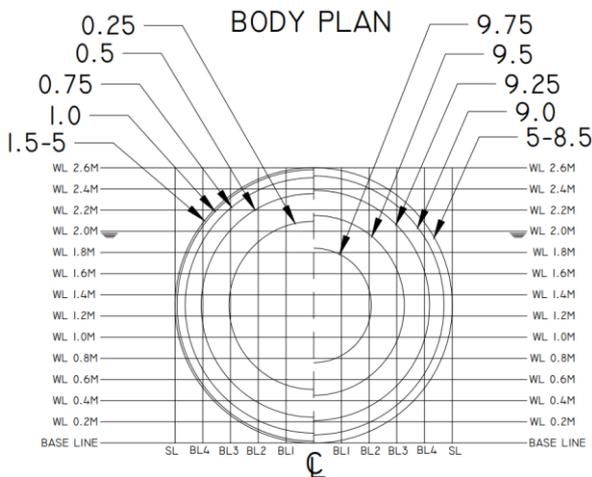
Tabel 3. Perhitungan Ukuran Utama Kapal Baru

Y	B ₀	B ₁	X	Y=B ₀ +X·B ₁
LOA	4.8	0.290	25	12.1

Dengan mempertimbangkan pembuatan rencana umum, maka lebar kapal disesuaikan dengan kebutuhan kursi penumpang yang akan dibuat 2 baris secara memanjang dan juga ketinggian kapal selam yang disesuaikan dengan ketinggian dari rata – rata masyarakat Indonesia. Sehingga didapatkan ukuran utama kapal baru LOA = 12.1 m, BOA = 3.13 m dan HOA = 3.87 m.

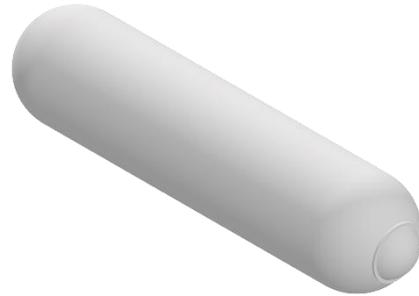
3.2. Rencana Garis dan Permodelan 3D

Pembuatan rencana garis dilakukan dengan menggunakan bantuan software CAD dimana rencana garis kapal dibuat tanpa adanya tambahan tonjolan (*appendages*). Gambar rencana garis tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.

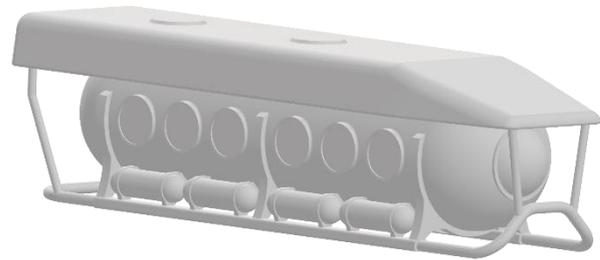


Gambar 2. Rencana garis kapal selam section view.

Perencanaan dilanjutkan dengan pembuatan model 3D menggunakan software Autodesk Inventor yang berbasis CAD, dimana terdapat 2 model yaitu *pressure hull* kapal selam dan kapal selam yang sudah ditambahkan dengan komponen-komponen penunjang dari kapal selam, yang terdapat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Gambar 3D model perspektif kapal selam



Gambar 4. Gambar 3D model perspektif kapal selam

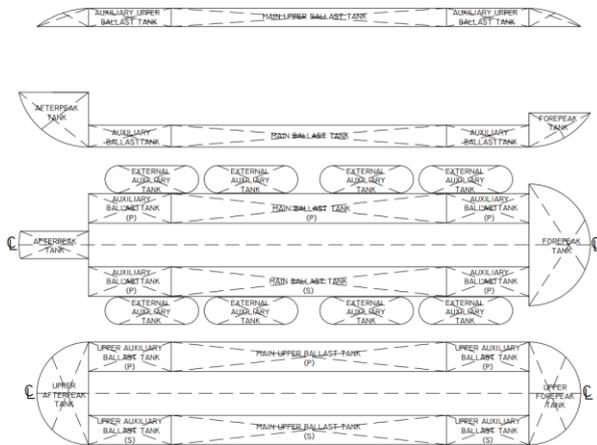
Permodelan 3D dibuat secara mendetail agar pada saat dilakukan analisis hambatan menggunakan metode CFD bisa didapatkan hasil yang paling mendekati dengan bentuk aslinya.

3.3. Perencanaan Tangki dan Rencana Umum

Perencanaan tangki pada kapal selam terbagi menjadi empat jenis tangki, sebagai berikut :

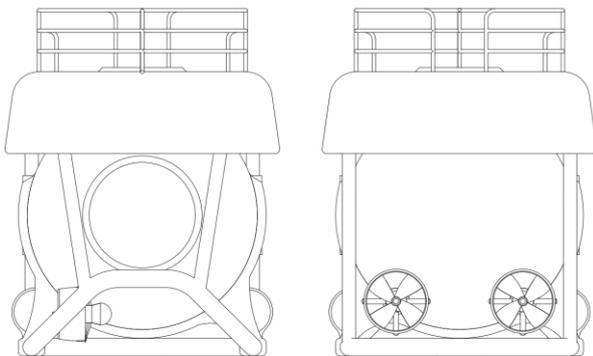
1. Tangki ballast haluan dan buritan (*trim ballast tank*) terletak di bawah ruang navigasi dan juga di ruang mesin. Berfungsi untuk memberikan efek trim dan membuat kapal ada pada posisi menyelam maupun naik ke permukaan dengan cara mengisi dan mengosongkan tangki.
2. Tangki ballast bantu (*auxiliary ballast tank*) terletak dekat dengan tangki ballast haluan dan buritan dan terdapat pada kedua sisi kapal *starboard* dan *portside*. Berfungsi sebagai tangki bantuan untuk memberikan efek trim pada kapal selam.
3. Tangki ballast tetap (*main ballast tank*) terletak pada bagian tengah kapal diantara tangki ballast bantuan. Berfungsi untuk membuat kapal selam berada pada kondisi NSC pada saat berada di permukaan.

4. Tangki ballast bantu luar (*external auxiliary ballast tank*) terletak diluar *pressure hull* kapal selam. Berfungsi untuk membantu kerja dari tiap tangki pada kapal selam. Perencanaan tangki pada kapal ini dapat dilihat pada Gambar 5.

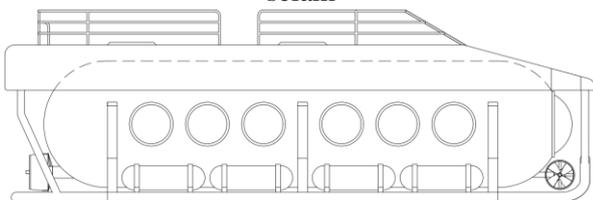


Gambar 5. Perencanaan tangki *ballast* tampak atas dan samping.

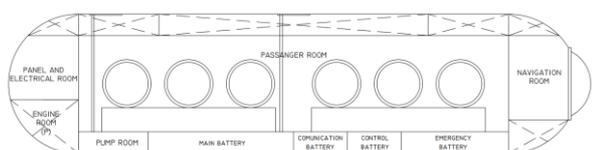
Rancangan rencana umum kapal selam dibuat sesuai dengan kebutuhan sebagai kapal selam wisata yang dapat dilihat pada Gambar 6. Sampai dengan Gambar 10. Dimana di dalamnya terdapat ruang penumpang, ruang kendali / ruang navigasi, mesin penggerak utama, tangki, dan ruang baterai [7].



Gambar 6. Tampak depan dan belakang kapal selam



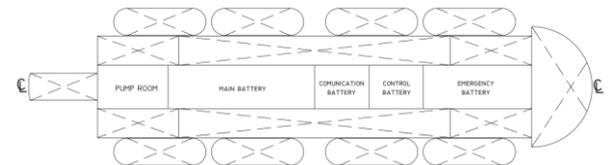
Gambar 7. Tampak samping kapal selam



Gambar 8. Rencana umum kapal selam *side view*



Gambar 9. Rencana umum kapal selam *top view*

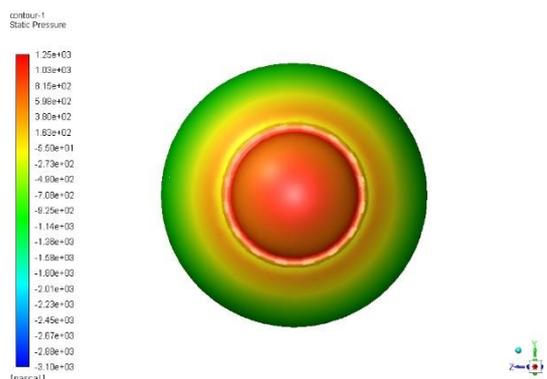


Gambar 10. Rencana umum kapal selam *bottom view*

3.4. Perhitungan Hambatan Kapal

Penentuan hambatan total dari kapal selam dilakukan dengan menggunakan metode CFD menggunakan ANSYS-Fluent. Hambatan pada kapal selam hanya di pengaruhi oleh hambatan gesek yang terjadi akibat adanya gesekan antara fluida bergerak dengan dinding kapal dan tidak memperhitungkan hambatan gelombang selama kapal bergerak dibawah permukaan air [9]. dimana hambatan kapal dihitung pada kecepatan 3 knots dan dilakukan sebanyak dua kali perhitungan. Perhitungan pertama dilakukan dengan hanya menggunakan *pressure hull* saja, sedangkan perhitungan kedua dilakukan dengan tambahan komponen-komponen lainnya pada lambung kapal.

Pada Gambar 11. Sampai dengan Gambar 14. dapat dilihat *contour* tekanan yang terjadi pada kapal selam saat kapal bergerak pada kecepatan 3 knots.



Gambar 11. *Contour* tekanan kapal selam tampak depan

$$R_T = R_{BH} + R_{APP} \quad (3)$$

Dimana R_{BH} adalah nilai hambatan total *pressure hull* tanpa tambahan *appendages* (*fin, rudder, stabilizer, etc.*) sehingga menghasilkan rumus [11] :

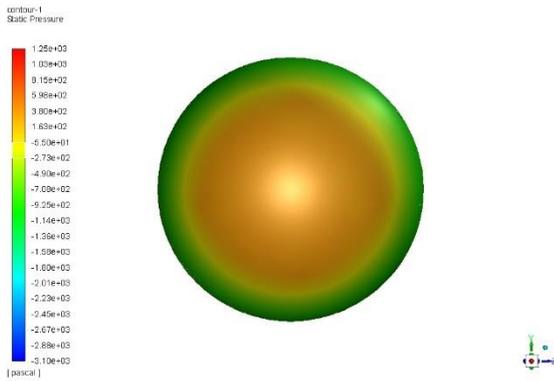
$$R_{BH} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v^2 \cdot C_T \quad (4)$$

Sehingga dapat dilihat perbandingan hambatan *pressure hull* menggunakan metode Holtrop dan metode CFD pada Tabel 4.

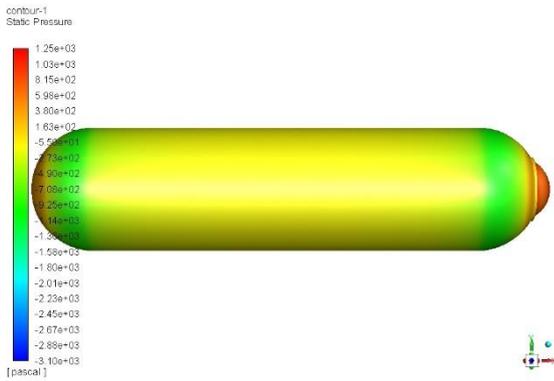
Tabel 4. Perbandingan nilai hambatan total metode CFD dengan Holtrop

Metode	RT (N)	Selisih (N)	Nilai error (%)
CFD	555.17	32.31	5.82%
Empiris	522.86		

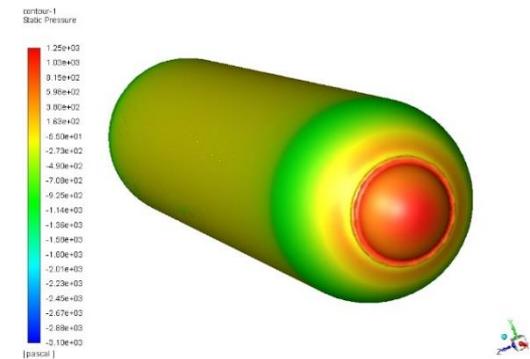
Setelah dinyatakan valid maka analisis hambatan dilakukan kembali dengan menggunakan model yang lebih kompleks dengan kecepatan 3 knots untuk mendapatkan hasil yang lebih aktual. Dimana hasil *contour* tekanan yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 15. Sampai dengan Gambar 18.



Gambar 12. *Contour* tekanan kapal selam tampak belakang



Gambar 13. *Contour* tekanan kapal selam tampak samping

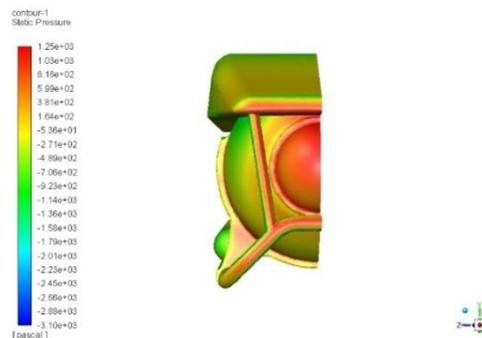


Gambar 14. *Contour* tekanan kapal selam tampak *perspective*

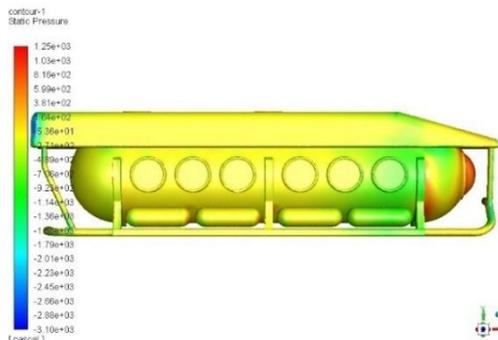
Hasil analisis kapal mendapatkan gaya hambatan sebesar 555.17 N. hasil perhitungan hambatan metode CFD di validasi dengan menggunakan perhitungan hambatan metode Holtrop, berdasarkan ITTC 1957 nilai hambatan untuk *non-dimensional form* [10] :

$$C_T = \frac{R_T}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot S} \quad (2)$$

Dimana nilai R_{TH} dapat ditentukan dengan menggunakan rumus [11] :



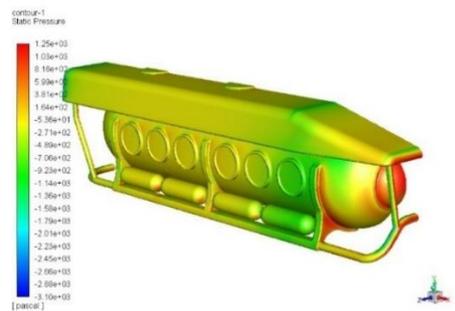
Gambar 15. *Contour* tekanan kapal selam tampak depan



Gambar 16. *Contour* tekanan kapal selam tampak samping



Gambar 17. *Contour* tekanan kapal selam tampak belakang



Gambar 18. *Contour* tekanan kapal selam tampak samping depan

Dimana hambatan akhir yang didapat adalah sebesar 5772.56 N.

3.5. Perhitungan Berat Kapal

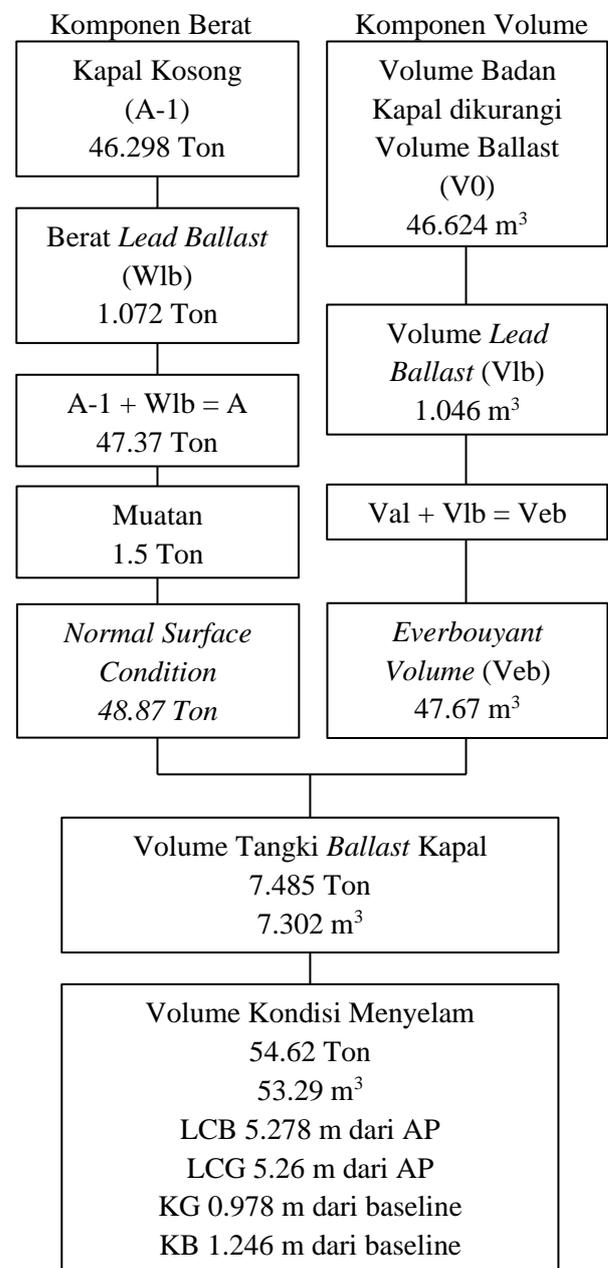
Terdapat dua kondisi pada sebuah kapal selam yaitu kondisi permukaan normal (NSC) dan kondisi menyelam (*submerged*) yang dipengaruhi oleh keseimbangan diantara berat dan volume tercelup kapal selam. Untuk dapat menyelam kapal selam memiliki tangki pemberat yang dapat diisi dengan udara maupun air [12].

Pada kondisi NSC kapal akan mengapung pada sarat penuh. Sedangkan pada kondisi menyelam berat air yang dipindahkan sama dengan berat kapal selam beserta isinya. Kapal selam dikatakan seimbang apabila equilibrium statisnya pada kondisi menyelam memiliki nilai berat yang sama dengan nilai *buoyancy*nya begitu pula dengan LCB yang harus sama dengan LCG. Estimasi berat pada kondisi menyelam dapat ditentukan dari berat kapal kosong + muatan + tangki ballast. Sedangkan perkiraan volume pada kondisi menyelam ditentukan oleh *pressure hull* yang didalamnya terdiri atas tangki ballas utama, ruangan dan tangki ballas bantu.

Pada Tabel 5. Dapat di lihat perhitungan berat dari kapal selam pada saat kondisi NSC. dan pada Gambar 19. dapat dilihat diagram kesimbangan berat dari kapal selam tersebut.

Tabel 5. Perhitungan berat pada kondisi NSC

Kode	Kategori Berat	Berat satuan (Ton)	Total berat kondisi (Ton)
	Lambung Utama	15.204	
	Sistem Propulsi	2	
	Permesinan & Mesin Bantu	10.404	
	Kelistrikan & Navigasi	14.26	
	Outfitting & Furnishing	4.43	
A-1	Berat Kapal Kosong		46.298
	Lead Ballast (PS)	0.536	
	Lead Ballast (SB)	0.536	
A	A-1 + Lead Ballast		47.37
	Total Berat Muatan	1.5	
NSC	Normal Surface Condition		48.87



Gambar 19. Diagram kesimbangan berat

3.6. Polygon Equilibrium

Polygon Equilibrium adalah grafik yang menggambarkan perubahan berat dan momen yang terjadi akibat perubahan nilai tangki ballast dan juga tangki bahan bakar [13]. Pada grafik *polygon equilibrium* terdapat dua sumbu, yaitu sumbu-X menunjukkan moment dalam satuan Ton·m dan pada sumbu-Y menunjukkan perubahan berat dalam satuan Ton. Grafik *polygon equilibrium* dibuat berdasarkan variabel tangki yang ada karena batas-batas pada *polygon* terdiri dari kondisi ekstrim tangki. Berikut ini pembagian tangki menurut buku *Principles of Naval Architecture volume 1* [14]:

1. Tangki trim depan
2. Tangki trim belakang
3. Tangki bantu (*Aux. tank*)

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

1. Semua tangki kosong
2. Tangki belakang penuh
3. Tangki belakang penuh + Tangki bantu
4. Semua tangki penuh
5. Tangki depan penuh + Tangki bantu
6. Tangki depan Penuh
7. Semua tangki kosong

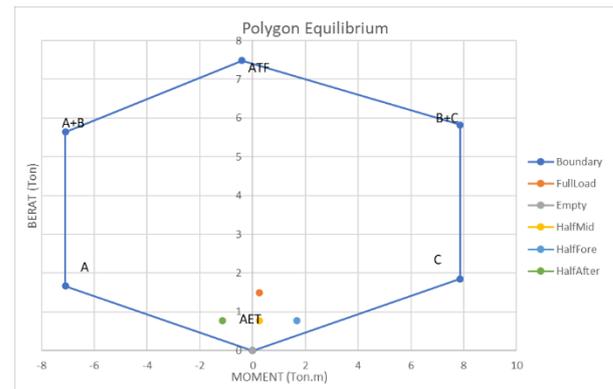
Hasil perhitungan momen dan titik berat skenario tiap variabel tangki *ballast* dapat dilihat pada Tabel 6. dan Tabel 7. Setelah semua kondisi muatan ekstrim di plot menjadi grafik dan dibuat *polygon boundary* yang kemudian ditambahkan titik-titik kondisi pada sistem, untuk merefleksikan jumlah berat dan moment yang dibutuhkan pada setiap kondisi untuk dapat di seimbangkan dengan sistem ballast yang tersedia. Seperti yang terlihat pada Gambar 20.

Tabel 6. Perhitungan berat dan momen kondisi muatan ekstrim

Kode	Kondisi Ekstrim	Selisih (ton)	Momen (Ton·m)
Full	Full Load	1.5	0.264
Empty	Empty Load	0	0
Half Mid	11 Passenger Middle seat & 2 Crew	0.78	0.264
Half Fore	11 Passenger Fore seat & 2 Crew	0.78	1.66
Half Aft	11 Passenger After seat & 2 Crew	0.78	-1.13

Tabel 7. Perhitungan berat dan momen kondisi batas pemuatan

Kondisi Tangki	Berat (ton)	Momen (ton·m)
All Empty Tank	0	0
Aft. Tank Flood (A)	1.663	-7.093
(A) + Auxiliary Tank Flood (B)	5.636	-7.092
All Tank Flood (A + B + C)	7.485	-0.404
(B) + Fore Tank Flood (C)	5.822	7.859
Fore Tank Flood (C)	1.849	7.859
All Empty Tank	0	0

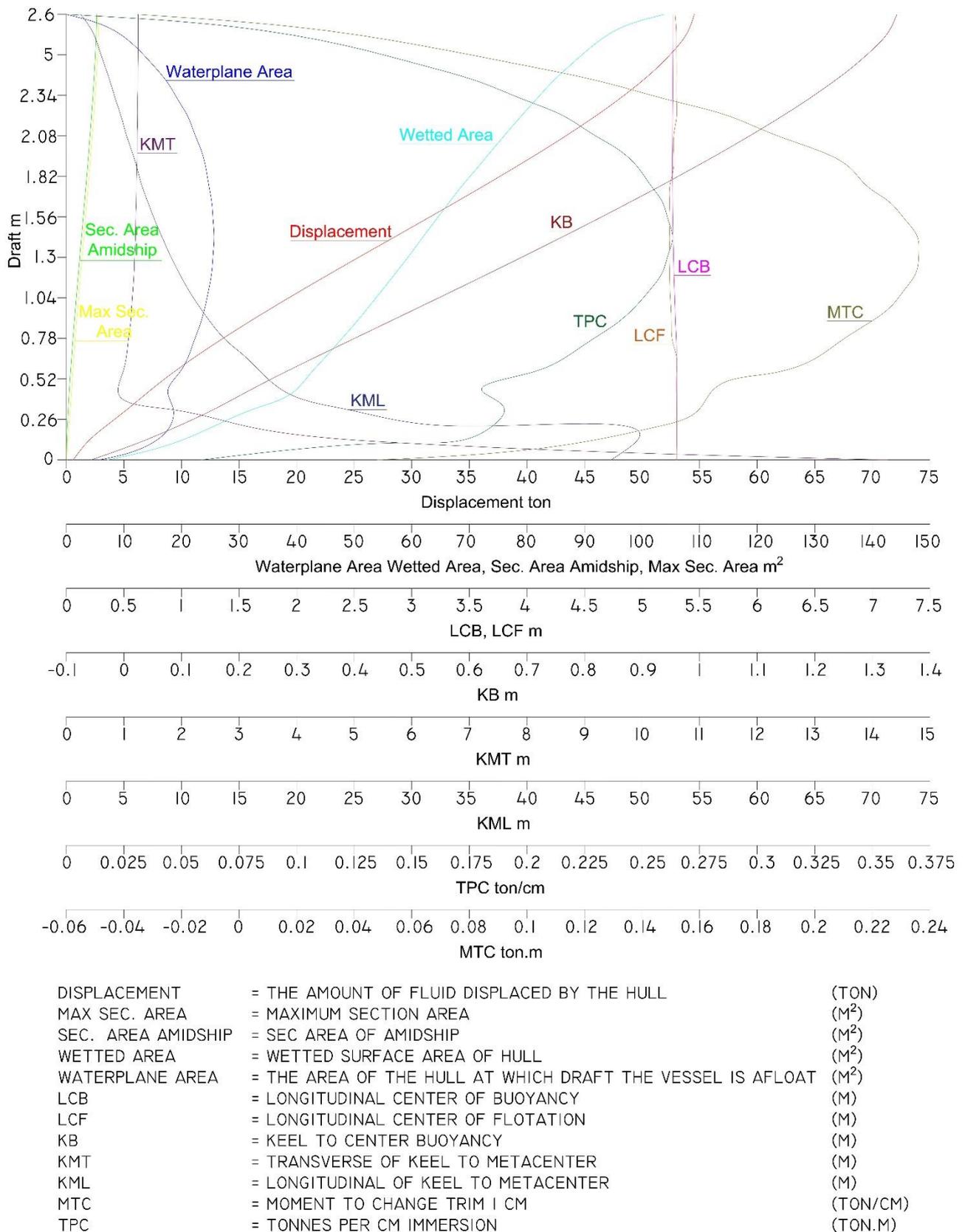


Gambar 20. Kurva *Polygon Equilibrium*

Dapat dilihat dari Gambar 20. titik-titik tiap kondisi tidak melebihi *polygon boundary* sehingga tangki ballast dapat mengantisipasi setiap kondisi yang di perkirakan akan terjadi.

3.7. Perhitungan Hidrostatik

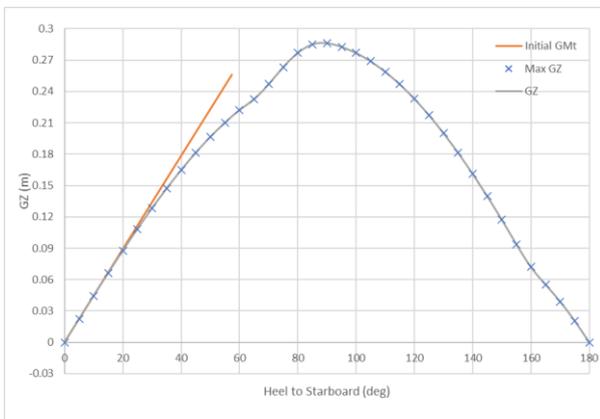
Perhitungan lengkung hidrostatik merupakan kurva yang menggambarkan sifat-sifat dari badan kapal yang tercelup kedalam air. Kurva hidrostatik digambarkan sampai dengan kondisi kapal tenggelam dan tidak dalam kondisi kapal trim [15]. Perhitungan hanya di lakukan pada bagian *pressure hull* saja karena pada bagian seperti perlengkapan *deck, propeller, rudder*, dan lainnya dianggap sebagai *freeflood*. Pada Gambar 21. dapat dilihat kurva hidrostatik kapal selam hasil perhitungan menggunakan *software maxsurf stability*.



Gambar 21. Kurva hidrostatik kapal selam pada kondisi menyelam

3.8. Perhitungan Stabilitas

Perhitungan stabilitas pada kondisi di permukaan (NSC) dilakukan untuk mengetahui apakah apakah kapaldapat kebalik ke posisi semula pada saat berada di pelabuhan maupun pada saat sedang mengisi udara di permukaan. Berbeda dengan perhitungan stabilitas kondisi menyelam yang mana diketahui bahwa bahwa nilai titik G harus berada di atas titik B agar kapal dapat tetap stabil [12]. Berdasarkan aturan klasifikasi dan konstruksi kapal selam berawak Germanische Lloyd Bab III mengenai stabilitas dan *buoyancy*, saat jarak vertikal antara titik B ke G lebih besar dari 0,05 meter maka kapal dinyatakan stabil. Perhitungan stabilitas pada kondisi NSC untuk melihat kemampuan kapal kembali ke posisi semula setelah mengalami olengan pada kondisi terapung.



Gambar 22. Kurva GZ dan GMt kapal kondisi NSC

Hasil dari perhitungan tersebut didapatkan nilai GZ maksimum dan nilai *Intial GMt* memenuhi kriteria IMO. Pada Tabel 8. dapat dilihat hasil dari perhitungan nilai GZ *max* dan *initial GMt* dari kapal selam.

Tabel 8. Hasil perhitungan stabilitas kondisi NSC

Normal Surfce Condition	
Berat	48.87 Ton
LCG	5.3 m
VCG	0.979 m
GZ Maksimum	0.287 m
Kriteria IMO	Memenuhi
Initial GMt	0.256 m
Kriteria IMO	Memenuhi

Dengan hasil perhitungan tersebut maka kapal dikatakan memenuhi kriteria IMO dimana nilai GZ maksimum dan *initial GMt* memenuhi dengan kriteria yang di tentukan.

4. KESIMPULAN

Dapat diketahui hasil dari perancangan dan juga analisis kapal selam wisata dengan kapasitas 25 penumpang memiliki ukuran utama sebesar LOA = 12.1 m, BOA = 3.13 m, HOA 3.87 m. Ukuran utama tersebut dijadikan dasar dalam pembuatan *lines plan* dan permodelan 3D, kemudian di lengkapi dengan gambar rencana umum (*general arrangement*) dan juga rencana tangki (*tank plan*). Hasil analisis hambatan kapal selam bagian *pressure hull* menggunakan metode CFD sebesar 555.17 N divalidasi dengan menggunakan metode Holtrop mendapatkan nilai hambatan sebesar 522.86 N sehingga memiliki selisih 5.8%, sedangkan hambatan total kapal dengan penambahan *appendages* menggunakan metode CFD didapatkan 5572.56 N.

Hasil perhitungan berat dan volume dari kapal selam ini pada kondisi NSC memiliki berat 48.87 ton dan volume 47.67 m³ sedangkan pada kondisi menyelam memiliki berat 54.62 ton dan volume 53.29 m³, dimana volume dari *main ballast tank* = 3.973 m³, *fore trim tank* = 1.849 m³, *after trim tank* = 1.663 m³, dengan total *volume ballast* 7.302 m³ sudah mampu membuat kapal menyelam. Hasil perhitungan *polygon equilibrium* ketika pemuatan ekstrim, kapal selam ini masih dapat mempertahankan nilai trim pada kondisi menyelam.

Hasil Analisis hidrosatik kapal pada saat kondisi menyelam memiliki *displacement* 54.62 ton dan NSC 48.87 ton dengan nilai KG 0.98 m. Pada analisis stabilitas kondisi NSC dengan sudut oleng 90° memiliki nilai GZ maksimum sebesar 0.287 m dan *initial GMt* 0.256 m sehingga mxemenuhi kriteria IMO untuk nilai max GZ dan *initial GMt*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Lasabuda, "Pembangunan Wilayah Pesisir Dan Lautan Dalam Perspektif Negara Kepulauan Republik Indonesia," *J. Ilm. Platax*, vol. 1, no. 2, p. 92, 2013.
- [2] S. Tinjauan and P. Pariwisata, "Keamanan Dalam Wisata Bahari (Penyelaman dan Surfng) : Tinjauan Permen Pariwisata R.I. No. 3 Tahun 2018," *Ilmu dan Budaya*, vol. 41, no. 3, pp. 7769–7794, 2018.
- [3] A. A. Sahir, A. Munazid, and B. Suwasono, "PERANCANGAN KAPAL SELAM TANPA AWAK (UNMANNED UNDERWATER VEHICLE / UUV) SEBAGAI SARANA OBSERVASI BAWAH LAUT Unmanned Underwater Vehicle (UUV) adalah kendaraan yang

beroperasi di bawah permukaan air (kapal selam) tanpa awak . Tanpa awak didefinisikan ,” pp. 72–83, 2017.

- [4] A. W. B. S. Wahyu Adi Nugraha, Deddy Chrismianto, “Pra Perancangan Kapal Selam Wisata Dengan Kapasitas 30 Penumpang Untuk Wilayah Perairan Wisata Bawah Air Taman Nasional Bunaken, Manado,” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 2, no. 4, pp. 112–121, 2014.
- [5] A. Papanikolaou, *Ship design: Methodologies of preliminary design*. Springer, 2014.
- [6] W. H. Nugroho, “PERANCANGAN KAPAL SELAM BERDASARKAN KAJIAN BERAT, DAYA APUNG & STABILITAS STATISNYA,” vol. 1, pp. 32–39, 2007.
- [7] M. Moonesun and P. Charmdooz, “General Arrangement and Naval Architectural Aspects in Midget Submarines,” in *4th Int’l Conf. Underwater Sys. Tech.: Theory Appl.*, 2012, vol. 2012, no. December, pp. 50–54.
- [8] P. J. Suranto and W. Sulistyawati, “STUDI HALUAN KAPAL SELAM BENTUK KAPSUL UNTUK MEMINIMALISIR HAMBATAN GESEK TERHADAP AIR LAUT,” *Bina Tek.*, vol. 12, no. 1, pp. 84–94, 2017.
- [9] M. M. Karim, M. M. Rahman, and M. A. Alim, “Computation of Axisymmetric Turbulent Viscous Flow Around Sphere,” *J. Sci. Res.*, vol. 1, no. 2, pp. 209–219, 2009.
- [10] R. P. and G. ITTC, “Predicting Powering Margins,” *Ittc*, vol. 7.5–02, no. 03–01.5, pp. 1–10, 2017.
- [11] E. E. Allmendinger, *Submersible Vehicle systems design*, vol. 96, no. v. Society of Naval Architects & Marine Engineering, 1990.
- [12] R. Burcher and L. Rydill, *Concepts in submarine design*, vol. 2. Cambridge university press, 1994.
- [13] C. Bowman and U. S. Navy, *The Submarine NAVPERS 16160-B GUPPY Edition*. Periscope Film, LLC, 2008.
- [14] E. V. Lewis, “Resistance, Propulsion and Vibration,” *Princ. Nav. Archit.*, vol. II, 1988.
- [15] V. Bertram, *Practical Ship Hydrodynamics*. Elsevier, 2012.