

ANALISA PENGARUH VARIASI *HULLFORM* TERHADAP HAMBATAN TOTAL KAPAL SELAM DENGAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC (CFD)*

Ajib Wahab Purwanto¹, Deddy Chrismianto¹, Eko Sasmito Hadi¹
¹Jurusan S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Email : ajibwp19@gmail.com, deddychrismianto@yahoo.co.id

Abstrak

Ukuran dan bentuk *hullform* kapal selam memegang peranan penting dalam menentukan performa hidrodinamika kapal selam khususnya dalam hal hambatan. Hambatan merupakan faktor penting yang perlu dipertimbangkan dalam perancangan sebuah kapal. Dalam membuat kapal selam dengan kriteria senyap diperlukan bentuk *hullform* yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan *hullform* kapal selam terbaik yang mempunyai performa hidrodinamis optimal yaitu mendapatkan hambatan total yang paling kecil sehingga memenuhi kriteria sangat senyap. Penelitian dilakukan dengan cara menganalisa dan menghitung hambatan total kapal menggunakan program computer berbasis CFD. CFD (*Computational Fluid Dynamic*) adalah ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, dan reaksi kimia dengan menyelesaikan persamaan matematika/numerik dinamika fluida. Berdasarkan hasil analisa dan perhitungan menggunakan CFD dari 8 model variasi *hullform* kapal selam didapatkan 4 model dengan hambatan total lebih kecil dari hambatan total model aslinya, yaitu model A, model F, model G dan model H. Nilai hambatan total paling kecil pada variasi kedalaman 0 meter dan 15 meter serta pada variasi kecepatan 5 knot, 10 knot dan 15 knot yaitu terdapat pada model H. Kesimpulannya, dari 8 model tersebut didapatkan bentuk *hullform* terbaik yang memiliki hambatan paling kecil yaitu model H.

Kata kunci : *Hullform*, hambatan total, kapal selam, variasi lambung, *CFD*.

Abstract

The size and shape of the submarine hullform holds an important role in determining the submarine hydrodynamics performance particularly in terms of resistance .Resistance is an important factor to consider in the ship design. In making a submarine with silent criteria required a good hullform shape. This study aims to obtain the best hullform submarines that have optimal hydrodynamic performance, ie achieving the smallest total resistance that meets the very silent criteria. The study was conducted by analyzing and calculating the total resistance vessels using CFD-based computer program. CFD (Computational Fluid Dynamics) is the study of how to predict fluid flow, heat transfer, and chemical reactions by solving math equations / numerical fluid dynamics. Based on the analysis and calculations using the CFD . From 8 variation models of submarines hullform obtained 4 models with total resistance with smaller than the total original model, there are model A, model F, model G and models H. The smallest total resistance value at a depth variation 0 meters and 15 meters and at a speed variation 5 knots, 10 knots and 15 knots which is contained in the model H. In conclusion, from the 8 the models obtained the best hullform shape that has the least resistance that is model H.

Keywords: *Hullform*, total resistance, submarines, hull variation, *CFD*.

1. PENDAHULUAN

Beberapa tahun belakangan ini isu-isu pertahanan dan keamanan berkaitan dengan masalah kedaulatan Negara Kesatuan Republik Indonesia semakin sering bermunculan.

Kehadiran kapal selam yang terbaik akan memperkuat penjagaan wilayah bawah

laut Indonesia. Sehingga saat ini Indonesia pun mulai melakukan perburuan terhadap kapal selam dengan kriteria: senyap, bisa bertahan lebih lama di dalam air dan mematikan.

Kemampuan untuk membuat sendiri kapal selam tentu akan memberi keuntungan berlipat ganda pada bangsa Indonesia. Selain

dari memperkuat pertahanan dan keamanan nasional, kemampuan untuk membuat kapal selam akan menimbulkan kemandirian teknologi, memacu pertumbuhan ekonomi, dan memperkokoh nilai-nilai NKRI. Sehingga pada penelitian ini, pengembangan desain parametrik hullform kapal selam diselidiki dan dianalisa untuk mendapatkan performa kapal selam yang optimal dalam memenuhi kriteria sangat senyap.

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini permasalahan akan dibatasi sebagai berikut :

1. Perhitungan hambatan dengan variasi bentuk lambung, didasarkan pada 3(tiga) input parameter, meliputi: ratio panjang total dan diameter terbesar (ratio L/D), diameter hidung (*nose*), dan diameter ekor (*tail*)
2. Tidak melakukan pengujian *towing tank*.
3. Analisa dan pengolahan data menggunakan software *Rhinoceros* dan software berbasis CFD.
4. Pemodelan menggunakan model yang sudah ada dan dimodifikasi bentuk lambungnya.
5. Hasil akhir dari tugas akhir ini adalah data nilai hambatan total lambung dasar kapal terhadap fluida air dan disimulasikan hasil analisis software berbasis CFD.

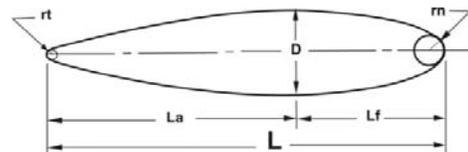
Berdasarkan latar belakang dan pembatasan masalah diatas, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan nilai hambatan total pada lambung dasar kapal selam sebelum mengalami variasi (*original*).
2. Mendapatkan nilai hambatan total pada lambung kapal selam setelah mengalami variasi bentuk lambung, didasarkan pada 3(tiga) input parameter, meliputi: ratio panjang total dan diameter terbesar (ratio L/D), diameter hidung (*nose*), dan diameter ekor (*tail*)
3. Mendapatkan bentuk lambung kapal selam yang memiliki hambatan yang paling kecil.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bentuk *Hullform* Kapal Selam

Ukuran dan bentuk *hullform* kapal selam memegang peranan penting dalam menentukan performa hidrodinamika kapal selam. *Hervey* menyatakan bahwa ratio panjang (L) dan lebar (D) merupakan variabel penting dalam menentukan performa hidrodinamika kapal selam, khususnya berhubungan dengan hambatan total dari lambung kapal selam saat terendam dalam air [5]. Sedangkan *Harry* menjelaskan bahwa dengan hambatan yang sangat kecil terutama di bagian hidung (*nose*), maka *noise* menjadi sangat kecil kemungkinannya terjadi yang mana kapal selam dikatakan mempunyai kriteria sangat senyap (tidak berisik) sehingga memungkinkan berkeliaran dan tidak terdeteksi radar. Sedangkan bentuk ekor (*tail*) mempengaruhi bentuk *wake* pada bagian belakang kapal selam [4].



Gambar 1 Ukuran utama dan parametrik *hullform* kapal selam

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian

Data Primer

Berikut data utama ukuran kapal

MIDGET type 150 VOGO :

Length over all (LOA): 29,70 m

Breadth (B) : 3,24 m

Depth (H) : 4,36 m

Speed (v) : 15 knot

Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari literature (jurnal, buku, dan data yang didapat pada penelitian sebelumnya).

3.2 Parameter Penelitian

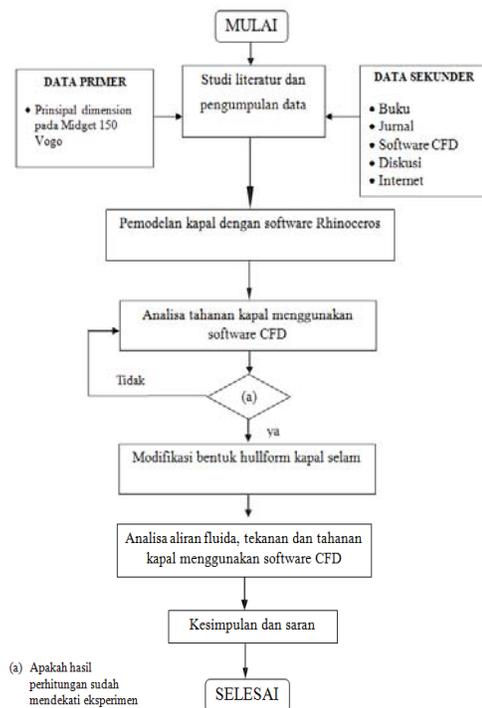
Penelitian ini difokuskan pada variasi bentuk *hullform* menggunakan beberapa parameter. Penelitian ini disimulasikan untuk mendapatkan

model baru dengan nilai hambatan total paling kecil.
Parameter yang dipakai adalah sebagai berikut :

- Parameter tetap
Dimensi properties dari lambung kapal selam antara lain:
 1. LOA (L) (m)
 2. Breadth (B) (m)
- Parameter peubah
Ratio panjang total dan diameter terbesar (ratio L/D)
 1. Diameter hidung (*nose*)
 2. Diameter ekor (*tail*)

3.3 Diagram Alir Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini terangkum secara sistematis dalam diagram alir di bawah ini:



Gambar 2 diagram alir penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan dianalisa nilai hambatannya dengan menggunakan metode *CFD*, dimana hasil perhitungan divalidasikan dengan hasil perhitungan dari metode *hybrid cartesian /immersed boundary (HCIB)* yang sudah dilakukan pada penelitian sebelumnya [7].

Skala model yang dipakai pada proses simulasi *CFD* adalah 1 : 6.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan desain lambung kapal selam yang optimal yaitu memiliki nilai hambatan yang minimal dengan mendesain varian bentuk lambung sesuai dengan tiga parameter yang sudah ditentukan. Parameter tersebut meliputi : ratio panjang total dan diameter terbesar (ratio L/D), diameter hidung (*nose*), dan diameter ekor (*tail*).

❖ Data ukuran utama model kapal :

Base Hull

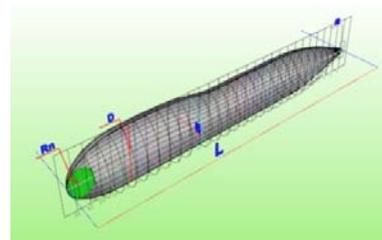
- *Length* (m) : 4,95
- *Breadth* (m) : 0,54
- *Depth* (m) : 0,73
- *Wetted Surface Area* (m²) : 8,16
- *Speed* (m/s) : 3,15
- *Froude Number* (Fn) : 0,45

4.1 Pengolahan Data

Hasil pemodelan dari *Rhinoceros 5.0* diexport dalam bentuk *file .stp* terlebih dahulu kemudian dibuka di *software CFD*. Analisa *CFD* yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah pemodelan, visualisasi aliran, *pressure*, *velocity* dan nilai hambatan kapal selam pada bentuk lambung yang sudah divariasi dengan tiga parameter.

4.2 Variasi Desain Bentuk Bagian Hullform

Metode yang digunakan dalam variasi bentuk haluan adalah korespondensi satu-satu dari parameter yang digunakan.

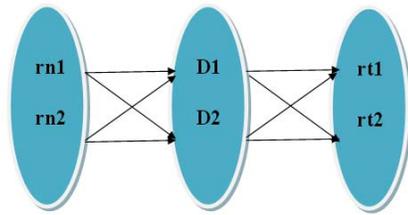


Gambar 3. Parameter bentuk *Hullform*

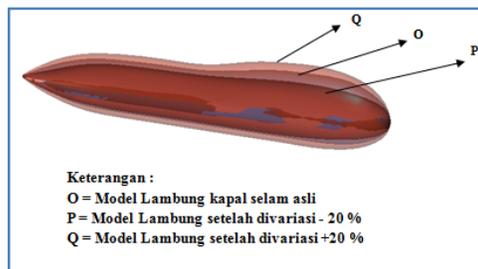
Parameter untuk variasi bentuk *hullform* adalah ratio panjang total dan diameter terbesar (ratio L/D), diameter hidung (*nose*), dan diameter ekor (*tail*). Kemudian *range* pada variasi tersebut ditentukan 20% dari ukuran asli parameternya model aslinya.

Skema korespondensi satu-satu untuk menghasilkan variasi bentuk *hullform* kapal selam menggunakan 3 parameter dan 2 macam

variasi tiap parameter, kemudian akan menghasilkan 8 macam variasi model bentuk *hullform*.



Gambar 4. Skema korespondensi satu- satu

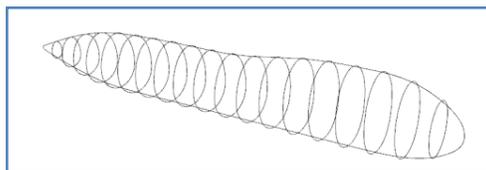


Gambar 5. Perbandingan Model Asli dengan Model yang sudah divariansi +20% dan -20%.

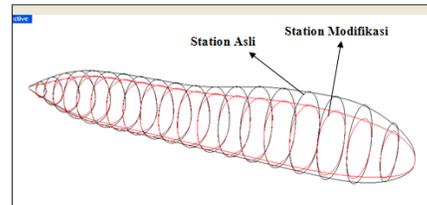
Tabel 1. hasil korespondensi satu- satu bentuk *hullform* kapal selam

No/ Model	Nama Model	rn	D	rt
1	Model A	0,83	3,49	0,12
2	Model B	1,24	5,23	0,17
3	Model C	0,83	5,23	0,17
4	Model D	0,83	5,23	0,12
5	Model E	1,24	5,23	0,12
6	Model F	1,24	3,49	0,12
7	Model G	1,24	3,49	0,17
8	Model H	0,83	3,49	0,17

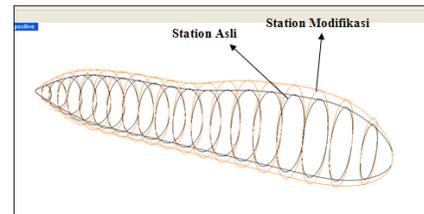
Model sebanyak 8 tersebut kemudian dibuat di software *Rhinoceros 5.0* sesuai dengan ukuran yang sudah ditentukan pada masing-masing variasi *hullform*. Berikut adalah tampilan gambar model asli dan hasil korespondensi satu - satu variasi bentuk *hullform* kapal selam.



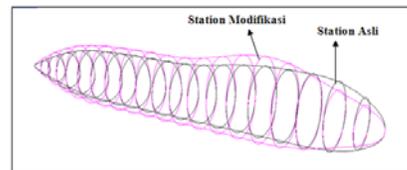
Gambar 6. Bentuk *hullform* Model Asli



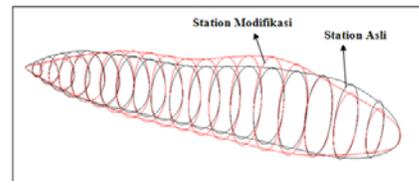
Gambar 7. Perbandingan *hullform* Model Asli dan *hullform* Model A



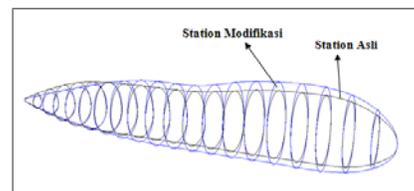
Gambar 8. Perbandingan *hullform* Model Asli dan *hullform* Model B



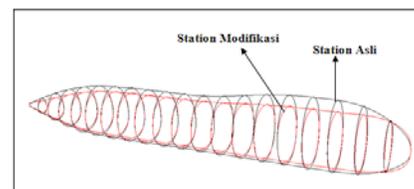
Gambar 9. Perbandingan *hullform* Model Asli dan *hullform* Model C



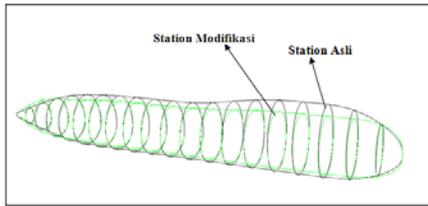
Gambar 10. Perbandingan *hullform* Model Asli dan *hullform* Model D



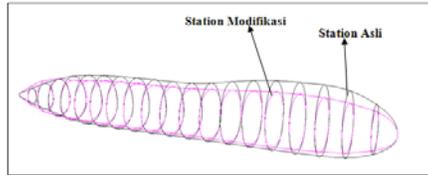
Gambar 11. Perbandingan *hullform* Model Asli dan *hullform* Model E



Gambar 12. Perbandingan *hullform* Model Asli dan *hullform* Model F



Gambar 13. Perbandingan *hullform* Model Asli dan *hullform* Model G



Gambar 14. Perbandingan *hullform* Model Asli dan *hullform* Model H

Tabel 2. Perbandingan luas permukaan basah

No	Nama Model	Luas Basah (m ²)	Selisih dg Model Original (%)
1	Model Ori.	293,65	-
2	Model A	267,54	-8,89
3	Model B	335,10	14,12
4	Model C	325,47	10,84
5	Model D	310,74	5,82
6	Model E	319,67	8,86
7	Model F	269,60	-8,19
8	Model G	274,89	-6,39
9	Model H	272,78	-7,11

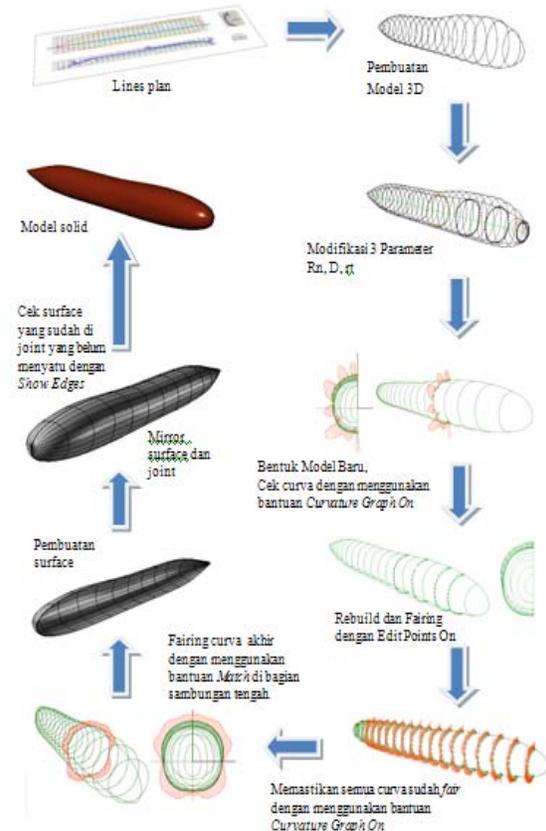
Model asli dan model variasi tersebut diuji dengan menggunakan software *CFD* dan hasilnya dapat diketahui nilai C_t dari masing-masing model tersebut. Nilai C_t dari hasil *CFD* tersebut kemudian digunakan untuk mencari nilai hambatan total sebenarnya dari masing-masing model. Dari hasil tersebut dicari nilai hambatan model yang lebih kecil dari nilai hambatan model asli kapal.

4.3 Simulasi *Computational Fluid Dynamic*

Proses simulasi numerik pada *Computational Fluid Dynamic* dimulai dari pembuatan model lambung kapal selam. Pemodelan lambung dengan menggunakan program *Rhinoceros 05*, kemudian file tersebut diexport dalam bentuk file .stp untuk di buka di *ANSYS*.

Langkah – langkah simulasi ini dibagi menjadi beberapa tahapan antara lain:

- Geometry*
- Mesh*
- Setup*
- Solution*
- Result*



Gambar 15. Proses pembuatan model pada software *Rhinoceros 05*

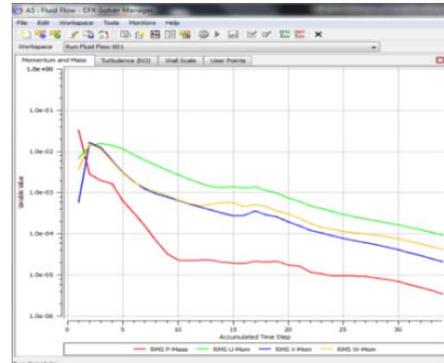
Tahap *geometri* adalah tahap pemodelan yaitu tahap penentuan model yang akan dianalisa.

Berdasarkan penelitian sebelumnya [2], pembuatan kolam *towing tank* dilakukan dengan menyesuaikan ukuran kapal. Panjang kolam *towing tank* 4 Lpp, di depan haluan 1 Lpp dan dibelakang buritan 2 lpp.

Penelitian ini pada tahap meshing menggunakan metode *CFX-mesh*.

Tabel 3. Perbandingan Statistik Mesh

No	Model	Total
1	Model Ori	1017359
2	Model A	1136638
3	Model B	994472
4	Model C	894252
5	Model D	1214254
6	Model E	1089887
7	Model F	562987
8	Model G	1098646
9	Model H	1357050



Gambar 17. Grafik perhitungan (*running*)

Domain - Default Domain		Settings	
Type	Fluid	Flow Regime	Subsonic
Location	B22	Mass And Momentum	Entrainment
Materials		Relative Pressure	2.4925e+03 [Pa]
Water		Turbulence	Zero Gradient
Fluid Definition	Material Library	Boundary - outlet	
Morphology	Continuous Fluid	Type	OUTLET
Settings		Location	Outlet
Buoyancy Model	Buoyant	Settings	
Buoyancy Reference Temperature	2.5000e+01 [C]	Flow Regime	Subsonic
Gravity X Component	0.0000e+00 [m s ⁻²]	Mass And Momentum	Static Pressure
Gravity Y Component	0.0000e+00 [m s ⁻²]	Relative Pressure	P
Gravity Z Component	-g	Boundary - Sym	
Buoyancy Reference Location	Automatic	Type	SYMMETRY
Domain Motion	Stationary	Location	Symmetry
Reference Pressure	1.0132e+05 [Pa]	Settings	
Heat Transfer Model	Isothermal	Boundary - Bottom	
Fluid Temperature	2.5000e+01 [C]	Type	WALL
Turbulence Model	SST	Location	Bottom
Turbulent Wall Functions	Automatic	Settings	
Boundaries		Mass And Momentum	Free Slip Wall
Boundary - inlet		Boundary - basehull	
Type	INLET	Type	WALL
Location	Inlet	Location	BaseHull
Settings		Settings	
Flow Regime	Subsonic	Mass And Momentum	No Slip Wall
Mass And Momentum	Cartesian Velocity Components	Wall Roughness	Smooth Wall
U	3.1476e+00 [m s ⁻¹]	Boundary - side	
V	0.0000e+00 [m s ⁻¹]	Type	WALL
W	0.0000e+00 [m s ⁻¹]	Location	Side
Turbulence	Low Intensity and Eddy Viscosity Ratio	Settings	
Boundary - top		Mass And Momentum	Free Slip Wall
Type	OPENING		
Location	Top		

Gambar 16. Domain Physics and Boundary Physics for CFX

Tahap *setup* dibagi menjadi beberapa langkah, antara lain default domain, *solver*, pembuatan *expression*, dan lain-lain.

Setelah *setup* selesai dilakukan, tahap selanjutnya adalah *solution*. Dalam tahap ini proses perhitungan (*running*) dilakukan berupa literasi dari persamaan dasar dinamika fluida pada CFD.

Setelah proses *running* atau simulasi selesai maka hasilnya dapat dilihat di tahap *solution*. Pada tugas akhir ini hasil yang diinginkan berupa nilai hambatan kapal, model, visualisasi pressure dan visualisasi aliran.

4.4 Validasi Hasil Uji Model Metode CFX Dengan Hasil Uji Model Metode Hybrid Cartesian / Immersed Boundary (HCIB)

Pada penelitian ini untuk memvalidasi hasil dari uji model, menggunakan hasil uji metode *Hybrid Cartesian / Immersed Boundary (HCIB)* yang sudah dilakukan pada penelitian sebelumnya [7].

Validasi digunakan untuk menentukan *boundary condition* yang tepat untuk digunakan pada *boundary condition* pada saat menganalisa hasil modifikasi *hullform* menggunakan

software CFX. Adapun maksimal *error* untuk validasi antara CFX dengan uji hasil (*HCIB*) adalah 10%.

Tabel 4. Perbandingan nilai *Ct* *HCIB* dan *Ct* *CFX*

Ket.	<i>HCIB</i>	<i>CFX</i>	Selisih
<i>Ct</i>	0,001006	0,00106619	0,00006 (5,98 %)

Hasil *Ct* yang didapatkan pada *CFX* untuk model original atau model asli adalah 0,00106619 hasil tersebut masuk dalam kriteria *error* dibawah 10% dari hasil uji dengan metode (*HCIB*) yaitu 0,001006, jadi selisihnya 0,00006 atau 5,98 %.

4.5 Perhitungan Hambatan Kapal

Perhitungan hambatan kapal dengan metode *Computational Fluid Dynamic* diambil dari tahap *results*. Data diambil dari menu *expressions* pada tahap *results*. Data yang diperlukan untuk menentukan hambatan kapal total adalah *Ct* atau koefisien hambatan kapal total adalah *Ct* atau koefisien hambatan kapal total kapalmode yang didapat dari *CFD*. Kemudian dari data koefisien tersebut kita olah sehingga kita mendapat nilai hambatan total kapal sebenarnya.

Dari data yang ada, model asli dan 8 model variasi masing – masing dan dicari nilai hambatannya. Berikut hasil proses *running*.

Tabel 5. Perbandingan nilai *Ct* tiap-tiap model

No	Model	Luas Basah(m ²)	<i>Ct</i>
1	Model Ori	8,1633	0,00106619
2	Model A	7,4330	0,00105634
3	Model B	9,3169	0,00105784
4	Model C	9,0419	0,00106703
5	Model D	8,6408	0,00108991
6	Model E	8,9124	0,00109012
7	Model F	7,4873	0,00112702
8	Model G	7,6352	0,00105098
9	Model H	7,5791	0,00100978

Koefisien hambatan total paling kecil terdapat pada Model H yaitu sebesar 0,00100978. Dengan menggunakan rumus maka hambatan total lambung kapal selam skala 1:1 didapatkan sebagai berikut :

Rumus umum dari hambatan total kapal adalah [8]:

$$RT = \frac{1}{2} \rho \cdot Ct \cdot S \cdot V^2$$

Dimana

- ρ : masa jenis air laut
- Ct* : koefisien hambatan total
- S* : *wetted surface area*
- V* : kecepatan

4.6 Perhitungan Hambatan Total pada Model

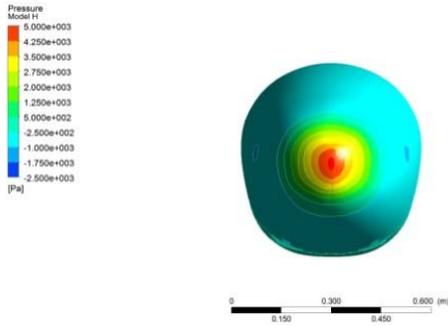
Simulasi dilakukan untuk mencari model kapal selam baru dengan hambatan lebih kecil dari pada hambatan kapal selam asli atau original. Pada 8 model modifikasi yang di analisa terdapat model dengan hasil yang lebih baik dari pada model asli.

Hambatan total kapal skala 1:1 dengan koefisien hambatan total pada model Original dengan nilai *Ct* 0.00106619.

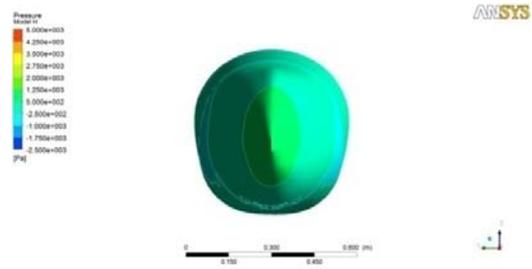
Tabel 6. Perhitungan *Rt* tiap model skala 1:1

No	Nama Model	<i>S</i> (m ²)	<i>Rt</i> (N)
1	Model Ori	293,65	9521,33
2	Model A	267,54	8594,59
3	Model B	335,10	10780,50
4	Model C	325,47	10561,69
5	Model D	310,74	10299,79
6	Model E	319,67	10597,64
7	Model F	269,60	9240,28
8	Model G	274,89	8785,97
9	Model H	272,78	8376,86

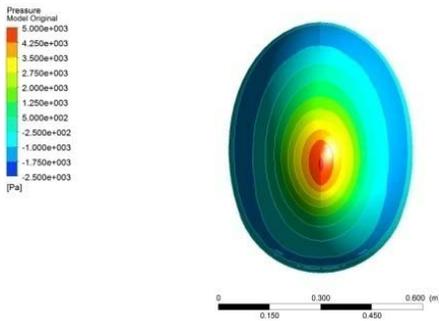
Dari data tabel 6 tersebut didapatkan nilai hambatan total dari model original adalah 9521,33 N, sedangkan model dengan hambatan terkecil terdapat pada Model H yaitu 8376,86 N. Selisih keduanya 1144,46 N atau 12,02 % lebih kecil dibandingkan hambatan total model original. Berikut perbandingan hasil simulasi antara model original dan model H.



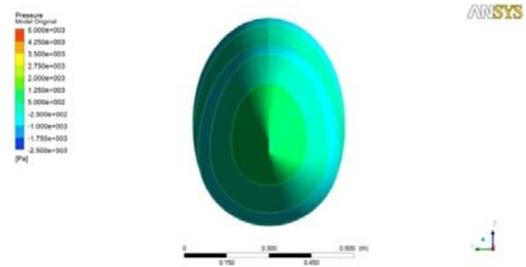
Gambar 18. *Contour Pressure* bagian *nose* Model H



Gambar 22. *Contour Pressure* bagian *tail* Model H



Gambar 19. *Contour Pressure* bagian *nose* Model Original



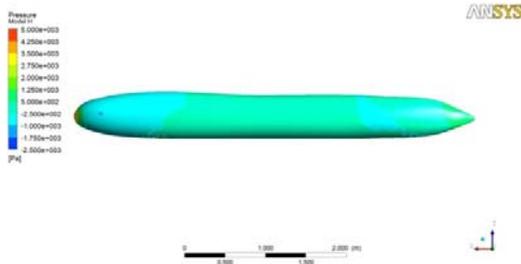
Gambar 23. *Contour Pressure* bagian *tail* Model Original

4.7 Perhitungan Hambatan Total dengan Variasi Kedalaman 15 m

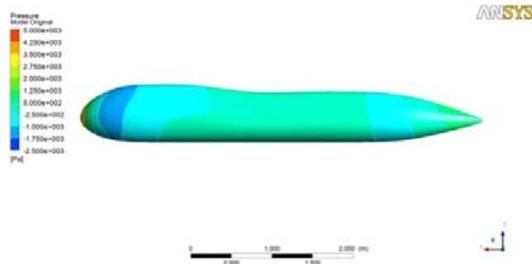
Simulasi dilakukan untuk menghitung nilai hambatan setiap model pada kedalaman 15 meter dan membandingkan hasilnya dengan nilai hambatan pada saat berada di permukaan (0 meter).

Tabel 7. Perhitungan nilai R_t tiap model skala 1:1 pada kedalaman 0 m dan 15 m.

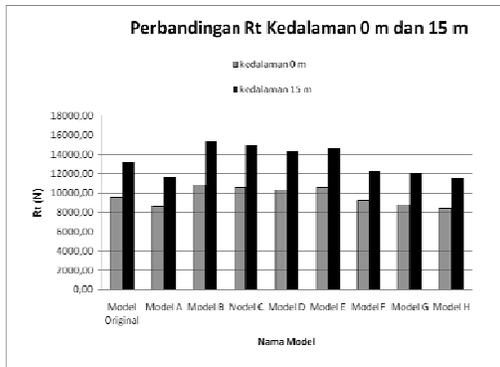
No	Model	R_t (N)	
		0 m	15 m
1	Model Ori	9521,33	13208,53
2	Model A	8594,59	11610,84
3	Model B	10780,50	15324,99
4	Model C	10561,69	14973,52
5	Model D	10299,79	14282,36
6	Model E	10597,64	14634,50
7	Model F	9240,28	12370,02
8	Model G	8785,97	12000,72
9	Model H	8376,86	11565,58



Gambar 20. *Contour Pressure* Lambung Kapal Model H



Gambar 21. *Contour Pressure* Lambung Kapal Model Original

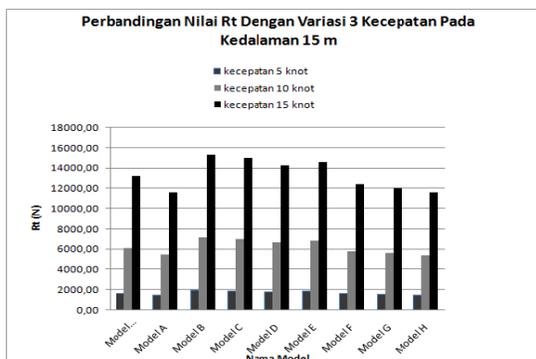


Grafik1. Perbandingan Hambatan total kapal selam pada kedalaman 0 m dan pada kedalaman 15 m

Kesimpulan dari tabel 7 dan grafik 1 tersebut dapat diketahui nilai hambatan kapal selam pada kedalaman 15 m lebih besar dari pada nilai hambatan pada kedalaman 0 m. Semakin dalam maka akan semakin besar nilai hambatan totalnya. Hambatan total paling kecil pada kedalaman 0 m dan 15 m yaitu pada model H dengan nilai R_t 8376,86 N dan 11565,58 N.

4.8 Perhitungan Hambatan Total dengan Variasi Kecepatan Pada Kedalaman 15 meter

Simulasi ini dilakukan untuk menghitung hambatan setiap model pada variasi kecepatan tertentu, yaitu pada kecepatan 5 knot, 10 knot dan 15 knot. Simulasi ini juga berguna untuk mengetahui pengaruh kecepatan terhadap hambatan total kapal. Hasil dari perhitungan ini dapat mengetahui bentuk *hullform* terbaik yang memiliki hambatan paling kecil di setiap variasi kecepatan.



Grafik2. Perbandingan Hambatan total kapal selam pada kecepatan 5 knot, 10 knot dan 15 knot

Tabel 8. Perbandingan nilai R_t tiap model skala 1:1 pada 3 variasi kecepatan

No	Model	R_t (N)		
		5 Knot	10 Knot	15 Knot
1	Model Ori	1646,86	6089,24	13208,53
2	Model A	1483,29	5433,68	11610,84
3	Model B	1953,38	7124,45	15324,99
4	Model C	1884,30	6958,99	14973,52
5	Model D	1761,34	6621,25	14282,36
6	Model E	1840,79	6784,92	14634,50
7	Model F	1596,31	5790,57	12370,02
8	Model G	1502,09	5579,27	12000,72
9	Model H	1469,36	5338,53	11565,58

Kesimpulan dari tabel 8 dan grafik 2 tersebut dapat diketahui semakin tinggi kecepatan maka akan semakin besar nilai hambatan kapal. Hambatan total paling kecil pada kecepatan 5 knot, 10 knot dan 15 knot yaitu pada model H dengan nilai 1469,36 N, 5338,53 N dan 11565,58 N. Jadi dari uji coba dengan 3 variasi kecepatan pada kedalaman 15 meter tersebut hambatan paling kecil terdapat pada model H sehingga bentuk hullform terbaik yang memiliki hambatan paling kecil adalah model H.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil perhitungan dan analisis yang dilakukan dengan CFD didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Besarnya nilai C_t hampir sama antara model yang menggunakan perhitungan metode *CFX* dengan hasil perhitungan menggunakan metode *Hybrid Cartesian / Immersed Boundary (HCIB)*. Hasil C_t yang didapatkan pada metode *CFX* untuk kapal original atau model asli adalah 0,00106619, hasil tersebut masuk dalam kriteria error dibawah 10% dari hasil uji menggunakan metode (*HCIB*) yaitu 0,001006, jadi selisihnya 0,00006 atau 5,98 %. Nilai hambatan model original yaitu 9521,33 N.
2. Variasi 8 model tersebut didapatkan nilai hambatan total lambung kapal selam yaitu model A 8594,59 N, model

- B 10780,50 N, model C 10561,69, model D 10299,79, model E 10597,64, model F 9240,28 N, model G 8785,97, model H 8376,86 N. Dari 8 model variasi tersebut terdapat 4 model dengan hambatan total lebih kecil dari hambatan total model aslinya, yaitu model A, model F, model G dan model H.
3. a. Pengujian dengan variasi kedalaman. Hambatan kapal selam pada kedalaman 15 m lebih besar dari pada nilai hambatan pada kedalaman 0 m. Semakin dalam maka akan semakin besar nilai hambatan totalnya. Hambatan total paling kecil pada kedalaman 0 m dan kedalaman 15 meter terdapat pada model H dengan nilai 8376,86 N untuk kedalaman 0 meter dan 11565,58 untuk kedalaman 15 meter. Jadi bentuk hullform terbaik yang memiliki hambatan paling kecil pada kedalaman 0 meter dan kedalaman 15 meter adalah model H.
 - b. Pengujian dengan variasi kecepatan 5 knot, 10 knot dan 15 knot. Pada kecepatan 5 knot hambatan paling kecil terdapat pada model H yaitu 1469,36 N. Pada kecepatan 10 knot hambatan paling kecil terdapat pada model H yaitu 5338,53 N. Pada kecepatan 15 knot hambatan paling kecil juga terdapat pada model H yaitu 11565,58 N. Jadi dari uji coba dengan 3 variasi kecepatan pada kedalaman 15 meter tersebut hambatan paling kecil terdapat pada model H sehingga bentuk hullform terbaik yang memiliki hambatan paling kecil adalah model H.

5.2 Saran

1. Pembuatan model harus lebih bagus lagi dan benar-benar *fair*(cantik/halus) surfaceny, karena jika semakin bagus modelnya maka akan semakin lancar proses meshingnya dan tingkat keerroran akan semakin sedikit.
2. Menggunakan spesifikasi komputer yang tinggi akan membantu memperlancar proses simulasi CFD dan bisa menghemat waktu ketika pengerjaan dan *running*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Burcher R, Rydill L J, *Concepts in Submarine Design*, The press syndicate of the University of Cambridge, Cambridge University Press, pp.295, 1998
- [2] Chrismiando, D., &Hidayat N.M, *Analisa Pengaruh Modifikasi Bentuk Haluan Untuk Menentukan Minimal Hambatan Total Dengan Menggunakan Program Komputer Berbasis CFD (Studi Kasus Kriso Kontainer Ship)*, Skripsi, Jurusan Teknik Perkapalan, FT. UNDIP, Semarang., 2013
- [3] Erwandi, *Rancang Bangun dan Uji Hidrodinamika (Resistance, Propulsion, dan Manouver Test) Sistem Propulsi dan Sistem Kontrol/Kemudi Model Kapal Selam Mini 22 M*, Balai Pengkajian dan Penelitian Hidrodinamika BPPT, Surabaya, 2010
- [4] Harry, A. and Jackson, P.E, *Submarine Design Notes*, USA : Harry Jackson copyright, 1980
- [5] Hervey, J, *Submarines*, Brasseys, London, 1994
- [6] Lewis, Edward, *Principles of Naval Architecture Second Revision*, Jersey:SNAME,1988
- [7] S. Shin, S.Y. Bae, I.C. Kim, Y.J. Kim and J.S. Goo, *Computations of flow over a flexible plate using the hybrid Cartesian/immersed boundary method*, International Journal for Numerical Methods in Fluids, Vol. 55, pp. 263-282 , 2007
- [8] Sv Aa. Harvald, *Tahanan dan Propulsi Kapal*, Diterjemahkan oleh Jusuf Sutomo, Surabaya : Erlangga, 1983