

# Analisis *Drag* dan *Lift* pada Variasi Bentuk *After Body* Kapal Selam Mini dengan Metode *Computational Fluid Dynamics*

Putri Virliani, I Ketut Suastika, Wasis Dwi Aryawan

Departemen Teknik Perkapalan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

Article history: Recieved 15/05/2017 Revised 12/06/2017 Accepted : 25/06/2017

## ABSTRAK

Salah satu aspek yang perlu dikaji dalam mendesain kapal selam adalah aspek hidrodinamika yang berkaitan dengan kemampuan manuever kapal selam. Penelitian ini diawali dengan melakukan perhitungan nilai *drag* (hambatan) dan *lift* (gaya angkat) pada tiga variasi bentuk *after body* kapal selam mini. Variasi pertama adalah sebagai desain awal yaitu *rudder* dan *stern plane* kapal selam mini tersusun saling tegak lurus atau dinamakan dengan susunan + *Stern*. Kemudian untuk variasi ke-dua dilakukan perubahan terhadap susunan *rudder* dan *stern plane* pada *after body* kapal selam mini susunan +*Stern*, yaitu *rudder* disusun saling menyilang sehingga menyerupai huruf X dan dinamakan susunan X-*Stern*. Selanjutnya untuk variasi ke-tiga, *rudder* bagian atas pada susunan X-*Stern* di ganti dengan *rudder* bagian atas pada susunan + *Stern* sehingga menyerupai huruf Y terbalik dan dinamakan susunan Y-*Stern*. *Drag* dan *lift* dihitung dengan cara numerik dengan menggunakan software *ANSYS-CFX*. Dari hasil perhitungan CFD didapatkan bahwa kapal selam dengan *after body* susunan Y-*Stern* memiliki nilai *drag* dan *lift* terkecil.

**Kata kunci** : *drag*, *lift*, *CFD*

## ABSTRACT

*One aspect that needs to be studied in submarine design is the hydrodynamic aspect relating to submarine maneuverability. This research begins by calculating the value of drag and lift on the three variations of the after body's mini submarine. The first variation as the initial design is rudder and stern plane arranged perpendicularly or named the + Stern. Then for the second variation made changes to the arrangement of rudder and stern plane in the after body of the mini submarine with + Stern arrangement, the rudder arranged each other crossed so that it resembles the letter X and called the X-Stern arrangement. Further, for the third variation, the upper rudder of the X-Stern arrangement is replaced by the upper rudder of the + Stern arrangement so that it resembles the inverted Y letter and is called the Y-Stern arrangement. Drag and lift are calculated numerically by using ANSYS-CFX software. From the calculation of CFD found that the submarine with after-body Y-Stern arrangement has the smallest drag and lift value.*

**Keyword** : *drag*, *lift*, *CFD*



**Putri Virliani**, bekerja sebagai Perakayasa Pertama di Balai Teknologi Hidrodinamika – BPPT. Dan saat ini sedang menyelesaikan studi Pascasarjana di Departemen Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

## PENDAHULUAN

Salah satu aspek yang perlu dikaji dalam mendesain kapal selam agar dapat bermanuever dengan baik dan tetap menjaga stabilitas kapal selam pada saat beroperasi adalah bentuk *after body* kapal selam yang

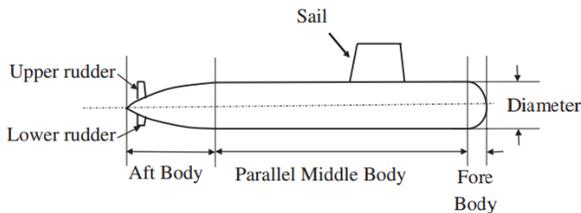
\*Corresponding author.

E-mail address: [pvirliani@yahoo.com](mailto:pvirliani@yahoo.com)

Peer reviewed under reponsibility of Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

© 2017 Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, All right reserved, This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

terdiri dari susunan komponen *stern planes* dan *after rudders*. *Stern planes* merupakan komponen sayap pendek horizontal yang dapat berfungsi untuk mengubah trim atau kedalaman kapal selam sehingga kapal selam dapat bergerak naik maupun menyelam. Dan *rudder* merupakan komponen sayap pendek vertikal yang dapat berfungsi untuk mengontrol gerak berbelok dan berputar pada kapal selam.



Gambar 1. Geometri Kapal Selam [5]

Pemilihan lokasi dan ruang untuk *stern planes* dan *rudders* juga menentukan kemampuan kapal selam untuk menjaga atau merubah kedalaman kapal selam yang semuanya memiliki dampak yang signifikan terhadap perilaku kapal selam saat bermaneuver.

Susunan komponen *stern planes* dan *rudders* pada *after body* kapal selam telah dikembangkan dan bahkan telah dipasang pada beberapa kapal selam modern. Bentuk *after body* yang paling umum dikenal adalah bentuk *X-Stern*. Pada susunan *X-Stern*, sayap horizontal dan sayap vertikal diputar 45° pada sumbu kapal selam menyerupai huruf X, sehingga dengan susunan seperti ini dapat memungkinkan mendapatkan rentang yang lebih besar pada masing-masing sayap.

Beberapa penelitian tentang kinerja kapal selam telah dilakukan di kolam uji Laboratorium Hidrodinamika Indonesia BPPT Surabaya sejak tahun 2007 terutama dalam kaitannya dengan gaya-gaya hidrodinamika saat kapal selam bergerak dan bermanuver [3]. Kemudian pada tahun 2015, Laboratorium Hidrodinamika Indonesia - BPPT Surabaya juga melakukan penelitian uji model fisik komponen *hydroplanes* untuk mengetahui gaya dan momen angkut kapal selam untuk desain lambung kapal selam type U-209 yang telah dimodifikasi [7].

Pada pengembangan desain kapal selam mini memiliki bentuk *after body* dengan susunan '+Stern', dimana efisiensi bentuk *after body* masih merupakan topic penelitian aktif untuk menginvestigasi kemampuan maneuver kapalselam. Sehubungan dengan hal tersebut, penelitian ini dilakukan sebagai langkah awal yaitu memprediksi *drag* (hambatan) dan *lift* (gayaangkat) pada setiap variasi bentuk *after body* kapal selam mini.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode numeric menggunakan software ANSYS yang berbasis *Computed Fluid Dynamic (CFD)*.

## METODE

### Geometri Kapal Selam

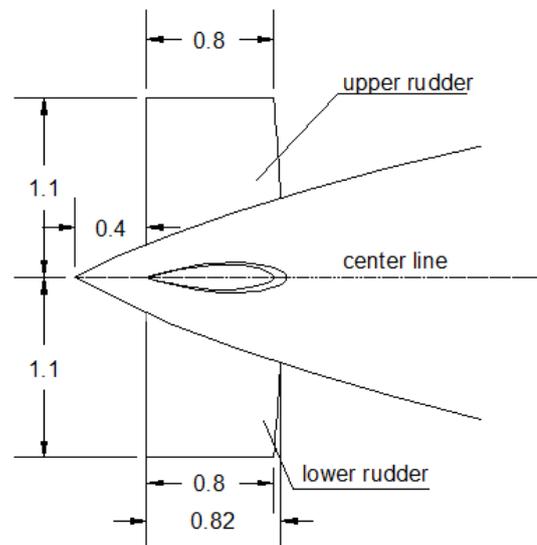
Data kapal selam yang akan digunakan pada pengerjaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Dimensi kapal selam

	Prototype
LOA	22,00 m
Diameter	3,00 m
Sarat	2,60 m
KecepatanMaks	15 knot
Displacement – surfaced	113,90 ton
Displacement – submerged	129,30 ton
Volume - Surfaced	111,17 m <sup>3</sup>
Volume – submerged	126,14 m <sup>3</sup>

Bentuk *after body* dengan susunan + *Stern* sebagai desain awal kemudian dilakukan variasi bentuk *after body* susunan X *Stern* dan Y *Stern*. Pada bentuk *after body* dengan susunan X *Stern* yaitu dengan memutar komponen *hydroplane* sebesar 45° dari posisi awal, kemudian untuk susunan Y *Stern* disusun menyerupai huruf Y terbalik yaitu dengan mengganti komponen *hydroplane* pada susunan X *Stern* pada bagian atas dengan 1 *rudder*.

Dimensi susunan komponen *hydroplane* pada susunan + *Stern* sebagai desain awal ditunjukkan pada gambar 2.



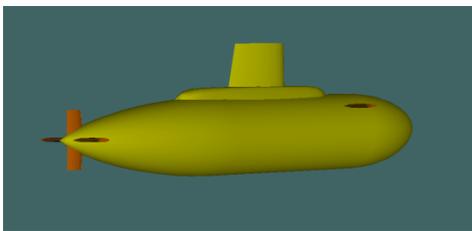
Gambar 2. Geometri komponen *Hydroplane* (bidang XY dan XZ)

Dengan susunan + *Stern*, *lower rudder* biasanya lebih kecil dengan *upper rudder* dan dengan aspek rasio yang rendah, tidak diijinkan untuk memperpanjang sampai bawah *keel* kapal selam. Ini membuat kesulitan ber-maneuver pada saat kapal selam berlayar dipermukaan. Pada sisi lain, *upper rudder* mungkin dapat dibuat lebih besar, ini juga akan membantu mengurangi *snap roll* pada saat menyelam, tetapi operasional *upper rudder* menjadi kurang efektif akibat wake yang ditimbulkan dari *sail*. Dimensi *span* pada

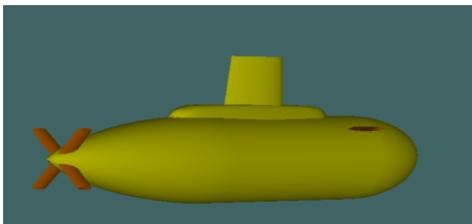
*stern planes* juga terbatas tidak boleh melebihi lebar kapal selam [6].

Telah banyak penelitian tentang penggunaan CFD untuk menghitung *drag* (gaya hambatan) pada lambung kapal selam seperti yang dilakukan oleh Baker (2004). Pada penelitian ini, langkah awal yang dilakukan adalah pembuatan gambar model 3d lambung kapal selam dengan dimensi yang disebutkan pada tabel 1. Kemudian dilakukan simulasi numerik aliran fluida di sekitar kapal selam dengan menggunakan CFD-ANSYS CFX untuk mendapatkan nilai *drag* (gaya hambatan) dan *lift* (gaya angkat) kapal selam.

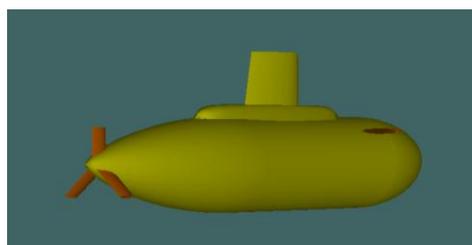
Gambar 3, gambar 4, dan gambar 5 merupakan tampilan geometri dari kapal selam dengan bentuk *after body* susunan+ *Stern*, X-*Stern* dan Y-*Stern* yang dimodelkan dengan menggunakan software *Maxsurf Pro* :



Gambar3. Kapal selam susunan + *Stern* dalam 3 dimensi



Gambar 4. Kapal selam susunan X *Stern* dalam 3 dimensi



Gambar 5. Kapal selam mini susunan Y-*Stern* dalam 3 dimensi

#### Pengaturan Pemodelan pada ANSYS ICEM

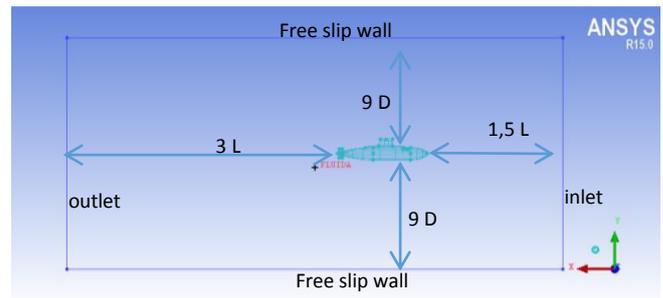
Pembuatan *domain* yang terdiri dari: *inlet*, *oulet*, *wall*, *top*, dan *bottom*. *Domain-domain* tersebut berbentuk persegi panjang yang diberi *surface* dan membentuk balok yang mengelilingi model kapal. Dalam menentukan posisi *flow domain*, Nematollahi, dkk (2015) telah melakukan perhitungan CFD dengan beberapa variasi posisi kapal dengan domain. Jarak dari model kapal selam ke *inlet* sebaiknya ditetapkan tidak terlalu besar dari panjang model kapal selam, dan diposisikan di bagian depan model. Sedangkan *oulet* diletakkan dibelakang disesuaikan dengan kebutuhan

analisis, dimana penelitian ini hanya untuk menghitung gaya-gaya kapal selam yang bekerja pada sumbu X,Y dan Z. Sehingga posisi *oulet* tidak perlu terlalu jauh dari model kapal selam dan hal ini akan meringankan proses eksekusi numerik.

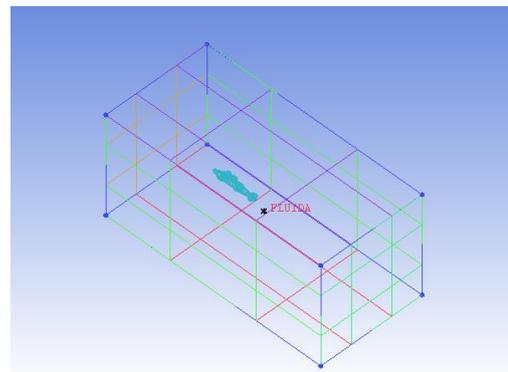
Posisi *hull* kapal selam mini pada *flow domain* disebutkan pada tabel 2 dan divisualisasikan pada gambar 6.

Tabel 2. Posisi *flow domain*

To inlet	1,5 L	33 meter
To Outlet	3 L	66 meter
To Up wall	9 D	27 meter
To Bottom wall	9 D	27 meter
Z – direction	9 D	27 meter



Gambar 6. *Boundary Condition* untuk simulasi CFD



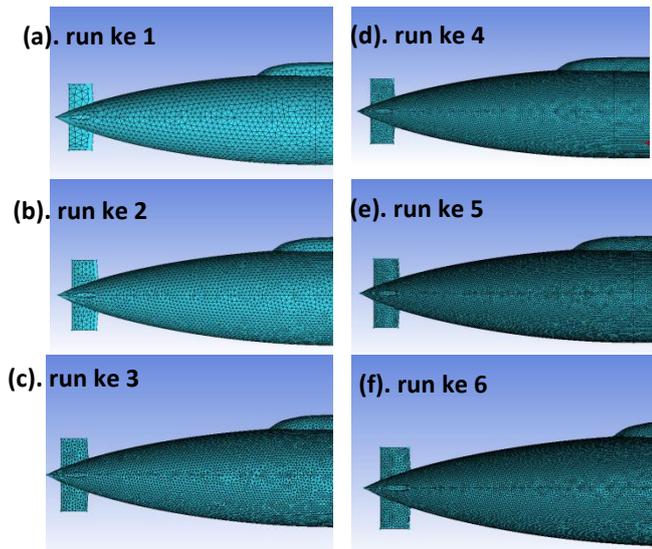
Gambar 7. Pemberian domain komputasi (*inlet* dan *oulet*)

Setelah pemberian *domain* seperti pada gambar 7, tahap selanjutnya adalah proses pemberian *meshing*. Pada tahap ini ukuran *meshing* diberikan dengan perbandingan antara model dengan domain. Lamanya durasi proses *meshing* tergantung pada ukuran *meshing* dan jumlah elemen yang dihasilkan. Semakin kecil ukuran *meshing*, maka akan semakin lama durasi proses yang diperlukan.

Pada penelitian ini, simulasi dilakukan dengan menggunakan 6 variasi jumlah elemen dengan masing-masing variasi menggunakan type *unstructured mesh* yang semuanya berbentuk segitiga. Visualisasi *meshing* dapat dilihat pada gambar 8. (a)-(f)

Tabel 3. Variasi jumlah elemen

Run ke -	Jumlah Elemen
1	93.095
2	181.240
3	315.013
4	494.852
5	932.169
6	3.000.125



Gambar 8.(a)-(f) Hasil proses *meshing*

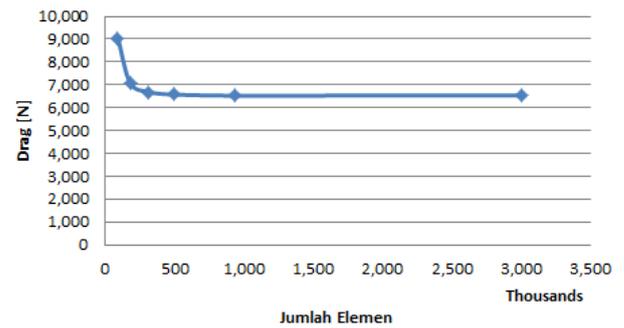
### Grid Independence

Pada penelitian ini dilakukan analisa *grid independence*, dimana jumlah elemen yang optimal ditentukan dengan cara memvariasikan jumlah elemen pada saat *meshing*, seperti yang ditunjukkan pada tabel 3. Bila perubahan jumlah elemen sudah tidak mempengaruhi hasil atau nilai akhir iterasi, maka dipilih elemen yang paling rendah untuk dipergunakan sebagai acuan dalam proses eksekusi pemrograman [5]. Hasil analisa *grid independence* model kapal selam ditunjukkan pada tabel 4. Dan gambar 9.

Tabel 4. Hasil *grid independent*

Run ke	Jumlah Elemen	Drag [N]	Deviasi [%]	Cd
1	93.095	9.046,66	0	0.075
2	181.240	7.095,25	-21.57	0.059
3	315.013	6.691,09	-5.70	0.055
4	494.852	6.577,60	-1.70	0.055
5	932.169	6.528,56	-0.75	0.054
6	3.000.125	6.543,01	0.22	0.054

### Grid Independent

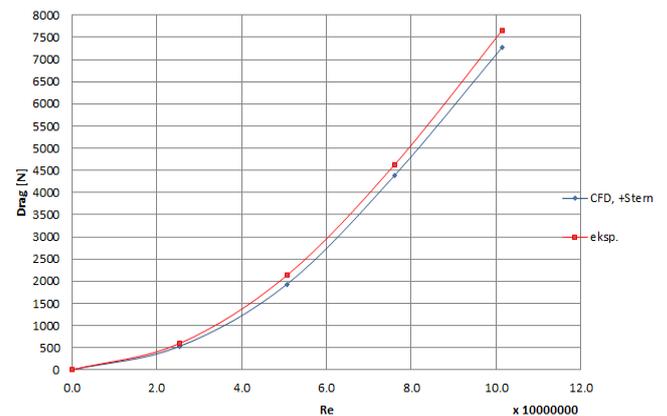


Gambar 9. Hasil *grid independent*

Dari tabel 4. Menunjukkan bahwa hasil dari berbagai variasi jumlah elemen *meshing* telah memenuhi kriteria *grid independence*, hal tersebut ditunjukkan oleh nilai deviasi terkecil yang kurang dari 2% antara jumlah elemen 932.169 dengan jumlah elemen 3.000.125. Maka untuk melakukan perhitungan *CFD* selanjutnya digunakan jumlah elemen sebesar 932.169.

### HASIL

Pada penelitian ini, validasi yang digunakan yaitu dengan membandingkan hasil simulasi *CFD* dengan hasil eksperimen. Data eksperimen pada penelitian ini menggunakan data penelitian uji tarik *resistance* model kapal selam mini yang pernah dilakukan di Laboratorium Hidrodinamika Indonesia [3]. Perhitungan *Drag* dan *Lift* pada simulasi *CFD* dilakukan dengan variasi kecepatan 2 knot, 4 knot, 6 knot dan 8 knot.

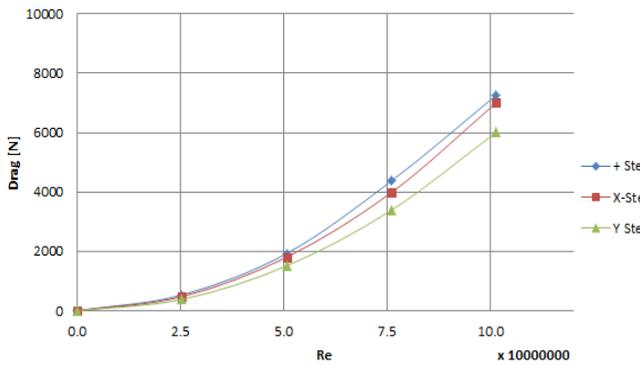


Gambar 10. Data *drag* hasil simulasi *CFD* dan eksperimen

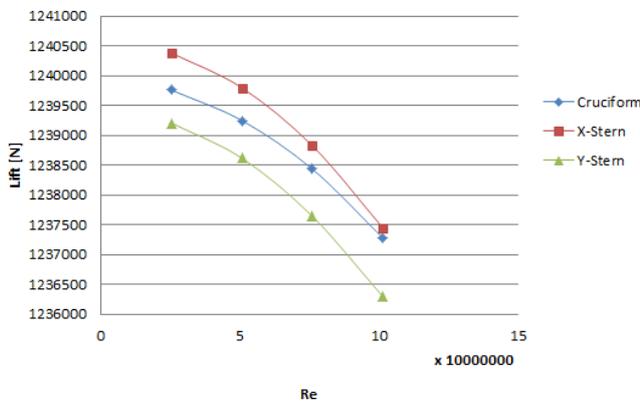
Dari gambar 10, kurva hasil simulasi *CFD* dengan eksperimen mempunyai kecenderungan yang sama. Untuk perhitungan *drag* pada simulasi *CFD* mulai dari angka reynold  $2.00E+07$  titik kurva bergeser ke bawah menunjukkan selisih nilai *drag* dengan eksperimen berada dibawah 10%. Nilai *Mean Absolute Percentage Error* adalah sebesar 2,8 %, sehingga permodelan dapat dikatakan memiliki kinerja yang

sangat bagus. Hasil dari perhitungan simulasi CFD-CFX dapat dilihat pada gambar 11 dan 12.

Gambar 11 menunjukkan kurva perbandingan nilai drag yang terjadi pada susunan + Stern, X-Stern, dan Y-Stern. Ketiga kurva tersebut menunjukkan kecenderungan nilai drag yang sama, untuk bentuk after body +Stern dan X-Stern memiliki nilai drag dengan selisih 2,8%. Sama halnya dengan nilai drag pada variasi sebelumnya (+ Stern dan X-Stern), kurva untuk bentuk after body Y-Stern tersebut menunjukkan nilai drag yang cenderung sama, memiliki selisih 4% dari susunan X-Stern hal ini juga dikarenakan kecilnya perbedaan geometri rudder pada masing-masing bentuk after body.



Gambar 11. Perbandingan Drag bentuk after body + Stern, Y-Stern, X-Stern



Gambar 12. Perbandingan Lift bentuk after body + Stern, Y-Stern, X-Stern

Pada kurva lift gambar 12. menunjukkan kecenderungan yang sama dan bentuk after body Y-Stern menghasilkan lift lebih kecil dari bentuk after body + Stern dengan selisih sekitar 0,03 %.

## KESIMPULAN

Penelitian untuk menganalisis drag dan lift pada tiga variasi bentuk after body kapal selam mini telah dilakukan dengan menggunakan software ANSYS-CFX. Dari hasil simulasi CFD tersebut menunjukkan bahwa untuk bentuk after body susunan X-Stern menghasilkan nilai drag dan lift lebih besar dari kedua variasi bentuk lainnya. Namun selisih perbedaannya

tidak terlalu signifikan, hal ini dimungkinkan terjadi karena pada penelitian ini variasi yang dilakukan hanya memutar posisi sayap komponen stern planes dan rudders, tidak melakukan variasi dimensi sayap horizontal dan sayap vertikal. Oleh karena itu variasi dimensi komponen stern planes dan rudders dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih sebesar-besarnya kepada Kementerian Riset Teknologi Dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia atas program beasiswa Pascasarjana Dalam Negeri tahun 2015-2017.

## REFERENSI

- [1] Baker C. "Estimating Drag Forces on Submarine Hull", Defence Research and Development Canada, DRDC Atlantic CR 2004-125, Canada, 2004.
- [2] Burcher, R., Rydill, L., "Concepts in Submarine Design", Cambridge University Press, 1994.
- [3] Erwandi, dkk., "Desain dan Uji Hidrodinamika Kapal Selam Mini Berbobot 133 Ton", Prosiding InSINas 2012, hal.1-6, 2012.
- [4] Nematollahi, A., Davdan, A., Dawoodian, M., "An Axisymmetric Underwater Vehicle Free Surface Interaction : A numerical Study", Journal of Ocean Engineering, Elsevier, Page : 205-214, 2015.
- [5] Oberkamp W.L., Trucano T.G., Verification and Validation in Computational Fluid Dynamic, Progres in Aerospace Sciences Volume 38 Pp.209-272, Pergamon elsavier, 2002.
- [6] Renilson, M., "Submarine Hydrodynamics", Springer Briefs in Applied Sciences and Technology, 2015.
- [7] Utina, M., R., Syafiul, A., Ali, B., "Numerical and Experiment Investigation of Lift Performance Over Hydroplane of Submarine", Journal of Subsea and Offshore Science and Engineering, Vol.5, 2016.
- [8] Versteeg, H.K., Malalasekera, W., "An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method", Pearson Education, 2007.