

ANALISA PENGARUH VARIASI KECEPATAN TERHADAP TEKANAN PADA MODEL KAPAL SELAM DENGAN MENGUNAKAN SIMULASI NUMERIK

Analysis of Speed Variation Effect on Submarine Model Pressure using Numerical Simulation

Ahmad Syafiul¹, M. Ridwan Utina²

¹Balai Teknologi Hidrodinamika BPPT, Surabaya

²Pusat Teknologi Rekayasa Industri Maritim BPPT, Surabaya

Email: aaf2k3li@gmail.com

Diterima: 4 Agustus 2017; Direvisi: 28 September 2017; Disetujui: 12 Desember 2017

Abstrak

Salah satu variabel yang berpengaruh terhadap aspek hidrodinamik kapal selam adalah bentuk badan kapal. Pengembangan bentuk kapal selam yang hidrodinamis dimulai dengan bentuk badan kapal yang streamline. Bentuk *body* yang *streamline* ini dapat mempengaruhi tahanan kapal. Dengan menggunakan perangkat lunak berbasis numerik dapat dianalisa pengaruh variasi laju kecepatan terhadap variasi distribusi tekanan yang terjadi pada lambung kapal selam, arah aliran fluida saat kapal selam bergerak, *streamline* desain kapal selam. Dalam paper ini dilakukan analisa pengaruh perubahan kecepatan terhadap salah satu komponen gaya tahanan kapal selam yakni *pressure drag*.

Kata kunci: kapal selam, tekanan, CFD, kecepatan, simulasi

Abstract

One variable that affects the hydrodynamic aspects of submarines is the shape of the ship's body. The development of a hydrodynamic submarine form begins with a streamlined ship shape. This streamline body shape can affect vessel resistance. By using CFD-based software, it can be analyzed the effect of speed rate variations on variations in pressure distribution that occur in submarine hulls, direction of fluid flow when moving submarines, streamline submarine design. In this paper, the effect of speed changes on one component of the submarine resistance force is analyzed.

Keywords: submarine, pressure, CFD, velocity, simulation

PENDAHULUAN

Penguasaan teknologi alutsista khususnya kapal selam perlu ditingkatkan sehingga mampu untuk mereduksi tingkat ketergantungan alutsista buatan negara asing. Kapal selam merupakan produk alat utama sistem persenjataan dengan standar kualitas

tinggi dan bernilai strategis (Utina, 2015).

Permasalahan dan tantangan pengembangan industri kapal selam yang padat teknologi perlu direspon secepatnya dengan dukungan dari berbagai aspek bidang keilmuan. Untuk menjawab permasalahan dan tantangan ini dan sejalan dengan

adanya rencana pengembangan desain kapal selam secara mandiri, salah satu aspek penting yang perlu dikaji dalam mendesain kapal selam adalah aspek hidrodinamika. Dalam paper ini, objek penelitian yang digunakan adalah jenis kapal selam kecil. Berdasarkan kondisi geografis, kapal selam kecil ini cocok dan sangat dibutuhkan.

Computational Fluid Dynamic (CFD) merupakan teknologi komputasi yang dapat digunakan untuk mempelajari aspek dinamika dari benda-benda atau zat-zat yang mengalir. CFD merupakan ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia, dan fenomena lainnya dengan menyelesaikan persamaan-persamaan matematika/model matematika (Tuakia, 2008). Aspek hidrodinamika yang akan dikaji dalam paper ini adalah analisa terhadap pengaruh kecepatan terhadap tekanan yang terjadi pada lambung kapal selam (*hull*).

Adapun metode yang digunakan dalam menganalisa adalah dengan menggunakan metode numerik berbasis CFD. Penggunaan simulasi numerik dapat dilakukan untuk mendapatkan perilaku gerakan kapal selam dapat membantu memberikan gambaran awal kinerja dari suatu desain kapal selam. Selain itu suatu simulasi numerik dari gerakan kapal selam juga dapat memberikan gambaran perilaku kapal selam untuk kondisi-kondisi tertentu seperti pada kasus – kasus ekstrim karena kasus darurat diluar gerakan (*manuver*) normal (Nugroho, 2015).

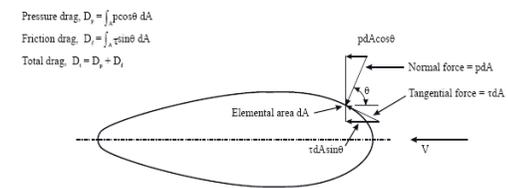
Dengan menggunakan perangkat lunak ini, dapat dianalisa efek hidrodinamika yang timbul pada lambung kapal selam seperti: arah aliran fluida saat kapal selam saat bergerak, *streamline* desain kapal selam, dan distribusi tekanan yang terjadi pada lambung model kapal selam. CFD memungkinkan untuk memprediksi fenomena aliran yang jauh lebih kompleks dengan berbagai tingkat akurasi antara lain distribusi tekanan sepanjang badan model kapal selam, prediksi tahanan kekentalan, visualisasi aliran dan analisa pengaruh permukaan bebas. CFD memberikan hasil fisik yang realistik dengan akurasi yang baik pada path simulasi dengan grid yang berhingga. (Setiahardja, 2012).

Streamline adalah garis-garis yang dibuat atau digambar searah dengan arah aliran. Sehingga dengan kondisi variasi kecepatan yang berbeda dapat terlihat perbedaan bentuk aliran yang terjadi pada model bodi kapal selam tersebut. Dari analisa hidrodinamika

memnggunakan CFD yang berbasis pada penyelesaian permasalahan matematis hidrodinamik dengan menggunakan metode numerik dapat digunakan untuk mengetahui performa hidrodinamika dari desain kapal selam. Penggunaan pemodelan elemen hingga dapat digunakan untuk menghitung tegangan pada permukaan struktur kapal/lambung kapal (Nugroho, 2016).

TINJAUAN PUSTAKA

Ada dua jenis tahanan berbeda yang membentuk tahanan total dari badan kapal selam saat menyelam, yaitu *form drag* atau *pressure drag* dan *skin friction* atau *friction drag* (lihat Gambar 1)



Gambar 1. Komposisi tahanan yang terjadi pada badan kapal selam

Adapun *form drag* dan *friction drag* dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$C_D = C_{DP} + C_{DV} = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2} \quad (1)$$

$$C_{DP} = 2.0 \int_0^1 (P_f - P_r) dY, \quad (2)$$

$$C_{DV} = \frac{2.0}{Re} \int_0^1 \left[\left(\frac{\partial U}{\partial Y} \right)_h + \left(\frac{\partial U}{\partial Y} \right)_l \right] dX \quad (3)$$

dimana P_f dan P_r merupakan tekanan pada bagian depan dan bagian belakang kapal.

Form drag dapat terjadi karena bentuk *body* dan tergantung pada *flow separation point*. Sedangkan *skin friction* terjadi karena adanya gesekan antara fluida yang mengalir diseluruh permukaan *body*.

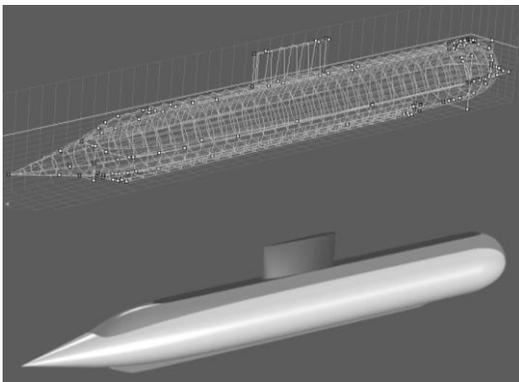
Sebuah benda pejal *streamline* yang bergerak di dalam fluida cair akan mengalami gaya hambat yang arahnya berlawanan dengan arah kecepatan benda tersebut. Gaya-gaya ini jika diuraikan, akan terbagi menjadi dua, yaitu gaya normal dan gaya tangensial. Gaya normal adalah gaya yang arahnya tegak lurus dengan elemen luasan dari benda. Sedangkan gaya tangensial yaitu gaya yang arahnya sejajar dengan

elemen luasan benda. Integrasi dari komponen gaya normal pada setiap elemen luasan akan membentuk *pressure drag*. Gaya tangensial merupakan tegangan geser (*wall shear*) yang bekerja pada setiap titik di permukaan benda. Komponen tegangan geser di setiap elemen luasan tersebut jika diintegrasikan akan membentuk *skin friction*.

Pada dasarnya perbedaan tekanan pada permukaan bagian depan dan belakang *body* kapal selam menghasilkan *pressure drag*. *Form drag* atau *pressure drag* adalah gaya dorong yang diakibatkan oleh tekanan yang terjadi karena pergerakan badan kapal selam di dalam medium fluida cair. Tekanan ini terjadi pada setiap titik sepanjang permukaan badan kapal selam, dan nilainya semakin besar pada daerah ujung depan kapal selam (*nose*) yang merupakan titik stagnasi dari bentuk *streamline* kapal selam. Tekanan akan semakin membesar dan mengecil seiring perubahan bentuk *streamline* dari badan kapal selam sesuai dengan persamaan Bernoulli, pada titik-titik di mana cairan bergerak lebih cepat, tekanannya harus lebih rendah. Semakin besar kecepatannya, semakin besar gaya angkat yang dihasilkan. Karena setiap cairan bergerak pada kecepatan tertentu, akan ada perbedaan kecepatan. Perbedaan-perbedaan ini akan menghasilkan perbedaan tekanan yang lebih besar, sehingga dapat menghasilkan daya angkat. Semakin besar kecepatan fluida, semakin besar perbedaan tekanan yang terjadi. (Utina, 2016)

METODE PENELITIAN

Gambari model kapal selam mini dibuat dengan menggunakan perangkat lunak *Maxsurf* berbasis CAD seperti terlihat pada Gambar 2.

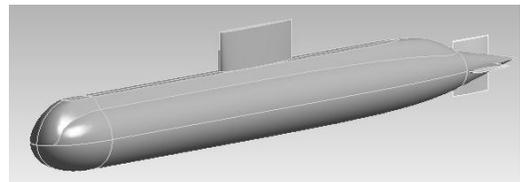


Gambar 2. Geometri kapal selam yang telah didesain dalam perangkat lunak *Maxsurf*

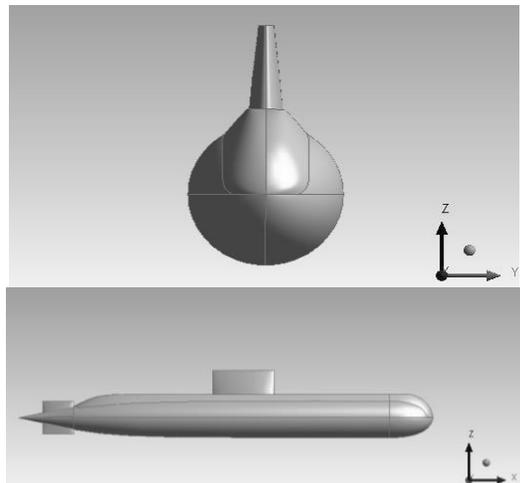
Kemudian geometri model kapal selam mini dipindah ke dalam perangkat lunak berbasis numerik CFD. Perlu dilakukan pemeriksaan terlebih dahulu terhadap geometri untuk memastikan bahwa model tidak mengalami kerusakan/cacat geometri atau perubahan bentuk maupun dimensi. Apabila telah dilakukan pemeriksaan geometri dan menunjukkan hasil bahwa gambar tidak sesuai dengan geometri awal maka perlu dilakukan beberapa pembenahan desain dan penambahan parameter pada geometri kapal selam agar bisa dihitung dengan menggunakan pendekatan numerik di CFD.

a. Konfigurasi Modeling

Geometri kapal selam yang telah dibenahi dalam *design modeler* dari perangkat lunak CFD memiliki bentuk yang ditampilkan secara isometrik pada Gambar 3 dan tampak dua dimensi berupa tampak depan dan tampak samping pada Gambar 4 di bawah ini:



Gambar 3. Tampak geometri kapal selam dalam perangkat lunak berbasis FEM



Gambar 4. Tampak 2-D model kapal selam dalam perangkat lunak CFD

Model kapal selam yang dibuat seperti yang terlihat pada Gambar 3 dan Gambar 4 menggunakan

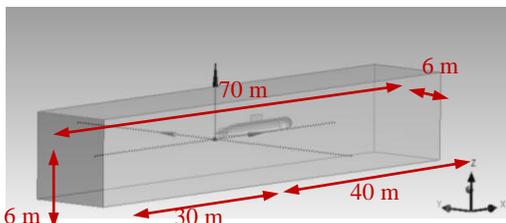
tipe *full surface*, artinya kapal selam hanya digambar dalam bentuk kulit terluarnya saja tanpa ada bagian yang terbuka, karena analisa yang dilakukan adalah analisa *fluid dynamics* sehingga tidak diperlukan memodelkan gambar dalam bentuk *full solid* atau pejal secara keseluruhan.

Selain gambar utama dalam bentuk 3 dimensi, maka agar proses simulasi numerik CFD dapat dilakukan dengan baik maka diperlukan data-data model kapal selam seperti data utama kapal serta variasi kecepatan kapal selam yang akan digunakan dalam proses simulasi numerik, dimana data-data tersebut ditunjukkan pada Tabel 1 di bawah ini:

Tabel.1. Data dimensi kapal selam skala model

Parameter	Magnitude	Unit
Kapal selam Displacement	22.63	Ton
Kapal selam Length (Lwl)	12.730	M
Kapal selam Diameter (ϕ)	1.4983	M
Kapal selam Draft (D)	1.450	M
Water Density	1025	Ton/m ³
Volume	23.59	m ³
Surface Area	73.434	m ²
Velocity Variation	6;8;10;12;14	Knot
Boundary Length (Lb)	70	M
Boundary Beam (Bb)	12	M
Boundary Height (Hb)	12	M

Setelah geometri model kapal selam diperbaiki, maka dilakukan pemberian kondisi lingkungan berupa fluida yang menyelubungi kapal selam. Fluida yang menyelubungi kapal selam dimodelkan dengan bentuk kotak seperti yang ditampilkan pada Gambar 5 di bawah ini:

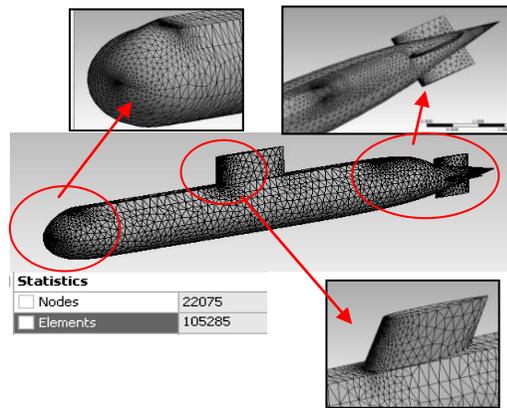


Gambar 5. Dimensi fluida yang menyelubungi kapal selam beserta penempatan model kapal selam

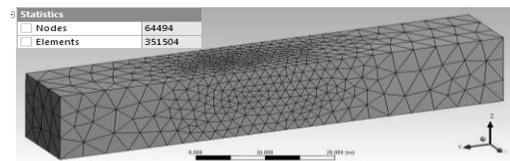
b. Pengaturan Meshing

Meshing merupakan pembagian objek menjadi bagian-bagian kecil, hal ini dilakukan dikarenakan proses pemecahan permasalahan yang digunakan oleh

metode numerik berupa diskritisasi, dimana diskritisasi merupakan cara untuk memecah domain atau daerah perhitungan menjadi beberapa daerah-daerah kecil yang disebut *grid, cell*, atau *mesh*. *Meshing Geometry* model kapal selam menggunakan bentuk *meshing Physics Preference* yang berupa: CFD. Nilai *Relevance* yang diberikan adalah: 100. Bentuk *meshing* yang digunakan berupa *triangular*. Gambar hasil *meshing* model kapal selam untuk analisa CFD ditampilkan pada Gambar 6 dan *meshing* keseluruhan pada model kapal selam beserta fluida ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 6. Meshing kapal selam skala model dengan jumlah elemen 105285



Gambar 7. Meshing kapal selam beserta fluida

Dalam simulasi CFD ini, dilakukan *meshing* pada kapal selam dengan jumlah elemen 105285 (lihat Gambar 6) dan pada fluida dimana pada daerah fluida yang mendekati dan bersentuhan dengan kapal selam memiliki tingkat kerapatan *meshing* yang tinggi. Jumlah *element* yang terbentuk dari *meshing* ini adalah 351504 *element* sebagaimana pada Gambar 7.

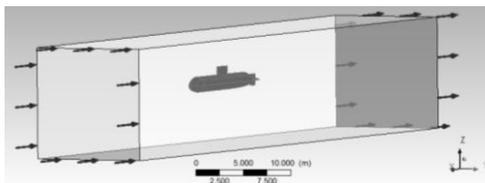
Pada analisa fluida CFD, dilakukan *meshing* pada fluida dan kapal selam dimana pada daerah fluida yang mendekati dan bersentuhan dengan kapal selam memiliki tingkat kerapatan *meshing* yang tinggi. Jumlah *element* yang terbentuk dari *meshing* ini adalah 351504 *element*.

Setup

Langkah *Setup* dalam pemodelan digunakan untuk mendefinisikan dan memasukkan nilai dan parameter serta batasan-batasan ke dalam pemodelan numerik CFD. Untuk batasan masalah dalam pemodelan CFD ini bahwa ada beberapa beban lingkungan seperti arus dan gelombang yang diabaikan. Untuk *Input* pembebanan dan *boundary condition* pada kapal selam adalah sebagai berikut:

Boundary Condition yang diberikan adalah berupa fluida air dengan temperatur 25°C. Jenis analisa yang digunakan adalah *steady state*. *Boundary condition* yang terdapat pada Gambar 8 untuk tiap dinding pada simulasi kolam uji adalah sebagai berikut:

- a = *inlet*, dengan nilai variasi kecepatan yang ditampilkan pada Tabel 2
- b = *outlet*, dengan nilai tekanan 0 Pa
- c = *wall Y+*, dengan asumsi dinding terdapat gesekan yang sangat kecil
- d = *wall Y-*, dengan asumsi dinding terdapat gesekan yang sangat kecil
- e = *bottom*, dengan asumsi dinding bebas gesekan
- f = *up*, dengan asumsi dinding terbuka (*opening*)



Gambar 8. Kondisi batas (*boundary condition*)

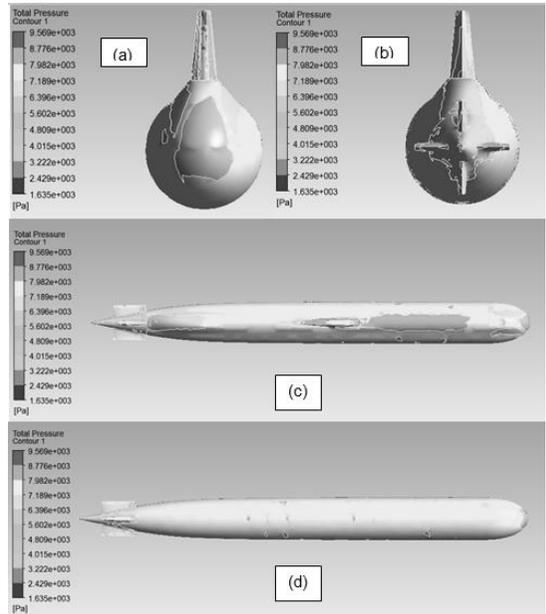
Sedangkan simulasi dilakukan pada kondisi 5 variasi kecepatan mulai dari 6 knots sampai dengan 14 knots seperti yang terdapat pada Tabel 2 di bawah ini:

Tabel.2. Variasi kecepatan

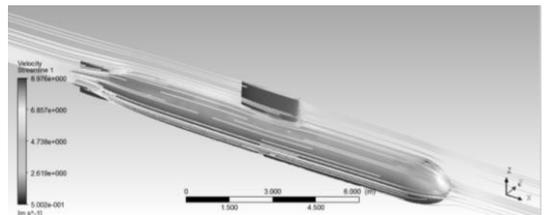
No. Simulasi	Kecepatan [Knot]
1	14
2	12
3	10
4	8
5	6

HASIL DAN PEMBAHASAN

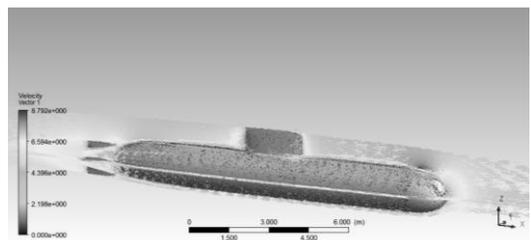
Setelah dilakukan analisa numerik dengan menggunakan perangkat lunak CFD, maka dari tiap-tiap variasi kecepatan kapal selam dapat diperoleh: gambar pola vektor kecepatan, pola aliran *streamline* design, dan pola distribusi tekanan dinamis.



Gambar 9. *Pressure distribution* di selubung kapal selam pada kecepatan 14 knot. a) Tampak depan; b) Tampak belakang; c) Tampak atas; d) Tampak bawah



Gambar 10. Tampak isometri *streamline* kecepatan di sekitar kapal selam saat kecepatan 14 knot



Gambar 11. Tampak isometri vector kecepatan pada kapal selam saat kecepatan 14 knot

Dalam paper ini, gambar hanya ditampilkan kecepatan maksimum kapal selam yakni 14 knot seperti yang ditampilkan pada Gambar 9, Gambar 10 dan Gambar 11.

Sedangkan tekanan maksimum dan tekanan minimum dari tiap-tiap variasi kecepatan ditunjukkan

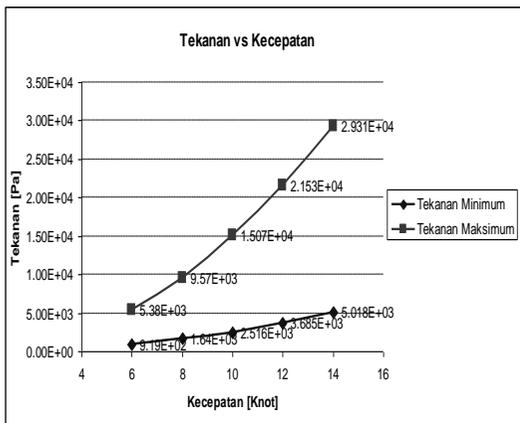
dalam bentuk Tabel 3 dan Tabel 4, serta grafik pada Gambar 12 dan Gambar 13. Hasil dan pembahasannya adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Nilai tekanan terbesar dan terkecil untuk 5 variasi kecepatan

Vasiasi Kecepatan [Knot]	Tekanan Minimum [Pa]	Tekanan Maksimum [Pa]
6	9.186E+02	5.382E+03
8	1.635E+03	9.569E+03
10	2.516E+03	1.507E+04
12	3.685E+03	2.153E+04
14	5.018E+03	2.931E+04

Tabel 4. Perbedaan tekanan untuk 5 variasi kecepatan

kecepatan [Knot]	Perbedaan Tekanan [Pa]
6	4463.4
8	7934
10	12554
12	17845
14	24292



Gambar 12. Grafik tekanan minimum-tekanan maksimum terhadap kecepatan

Data hasil simulasi numerik untuk 5 variasi kecepatan diperoleh nilai tekanan minimum dan tekanan maksimum yang berubah dan berbeda dari tiap-tiap kecepatan yang ada.

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa pada titik bagian belakang *body* kapal selam dimana kecepatan aliran semakin tinggi maka semakin kecil

tekanan yang terjadi sebaliknya pada bagian depan terjadi tekanan maksimum akibat kecepatan aliran rendah sehingga menyebabkan tekanan tinggi. Dengan semakin besar kecepatan aliran, maka perbedaan tekanan yang terjadi semakin besar sebagai mana ditunjukkan pada pada Tabel 4 dan Gambar 13 di bawah ini:



Gambar 13. Grafik jarak antara nilai tekanan maksimum dan tekanan minimum terhadap kecepatan

KESIMPULAN

Dari hasil pemodelan numerik CFD dapat diketahui nilai tekanan maksimum dan minimum yang terjadi di sepanjang kapal selam terhadap variasi kecepatan, dapat diperoleh pula kontur/pola sebaran distribusi tekanan pada kapal selam, dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar kecepatan yang ditempuh kapal selam maka semakin besar pula perbedaan tekanan yang terjadi pada lambung kapal selam.

DAFTAR PUSTAKA

- Nugroho, Wibowo H. (2015). *Desain Manual Perangkat Lunak Gerak Bawah Air Kapal Selam, Studi Simulasi Numerik Gerak Bawah Air Kapal Selam*. UPT – BPPH, Surabaya.
- Nugroho, Wibowo H. dan Mujahid, Ahmad Syafiul. (2016). *Prediksi Umur Kelelahan Struktur Badan Tekan Kapal Selam Karena Pengulangan Perubahan Beban Hidrostatik*. *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri* Vol. 9 (3): 105-174.
- Setiahardja, Teddy S. dan Utina, Ridwan M. (2012). *Rancang Bangun dan Uji Hidrodinamika Sistem Propulsi Torpedo – Metoda dan Pengujian*

- Tahanan Model Torpedo. *Wave: Jurnal Ilmiah Teknologi Maritim*, Vol. 6 (2): 64-70.
- Tuakia, Firman. (2008). *Dasar - Dasar CFD Menggunakan Fluent*. Bandung: Penerbit Informatika.
- Utina, M. Ridwan. (2015). *Teknologi Clearing House dan Audit Teknologi Hidrodinamika Kapal Perang Nasional*. UPT – BPPH, Surabaya.
- Utina, M. Ridwan, Syafiul, A., dan Ali, Baharuddin. (2016). Numerical and Experiment Investigation of Lift Performance Over Hydroplane of Submarine. *Journal of Subsea and Offshore*, Vol. 5: 1-16.

Analisa Pengaruh Variasi Kecepatan terhadap Tekanan pada Model Kapal Selam
dengan Menggunakan Simulasi Numerik
(Ahmad Syafiul, M. Ridwan Utina)

Halaman kosong