

ANALISA NILAI *THRUST* DAN *TORQUE* PROPELLER TIPE *B-SERIES* PADA KAPAL SELAM MIDGET 150M DENGAN VARIASI *SKEW ANGLE* DAN *BLADE AREA RATIO (AE/AO)* MENGGUNAKAN METODE CFD

Putra Bangkit SetyaBudi¹⁾, Deddy Chrismianto¹⁾, Good Rindo,¹⁾

¹⁾Program Studi S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email : sb.putrabangkit@gmail.com, deddychrismianto@yahoo.co.id, good.rindo@gmail.com

Abstrak

Kapal selam merupakan kapal yang mampu beroperasi dibawah air dengan mandiri, namun juga harus bergerak senyap dibawah air tanpa terdeteksi. Maka dari itu salah satu kebutuhan paling penting dalam kapal selam adalah Baling-Baling atau *Propeller*. Baling-baling kapal selam membutuhkan beberapa kriteria khusus yaitu baling-baling kapal yang dapat memberikan gaya dorong yang besar dengan tingkat kebisingan yang rendah. Maka desain *propeller* harus memiliki nilai *thrust* yang besar, nilai tekanan yang rendah, dan aliran baling-baling yang halus. Penelitian ini menganalisa baling-baling kapal selam jenis *B-7 Series* dengan variasi *Skew Angle* (27.7° , 29.7° dan 31.7°) dan *Blade Area Ratio* (0.55, 0.59 dan 0.70) dengan penambahan *Kort Nozzle C Tipe Shushkin Nozzle* serta dengan tiga nilai RPM yaitu, 400 RPM, 450 RPM dan 500 RPM, sehingga didapatkan jenis baling – baling yang optimum untuk kapal selam *midget type* 150 m dengan menggunakan program *Computational Fluid Dynamics (CFD)*. Dalam proses analisa menggunakan *software* berbasis CFD, kami mendapatkan hasil dari semua model baling – baling yaitu bentuk aliran, nilai *thrust* dan nilai *pressure* yang berbeda sesuai dengan RPM yang diberikan. Dari kesembilan variasi model yang telah dibandingkan didapat model baling – baling yang optimum yaitu *B – 7 Series* pada Model 2 ($27,7^{\circ}$ & 0,59) putaran 400 RPM dengan nilai rata-rata tekanan 66,34 Pa, dan aliran turbulen dengan kecepatan rata - rata 15,56 m/s.

Kata kunci : Kapal Selam, *Propeller*, *Skew Angle*, *Blade Area Ratio (Ae/Ao)*, *Kort Nozzle*, dan CFD

1. PENDAHULUAN

Kapal selam merupakan kapal yang mampu beroperasi dibawah air dengan mandiri.^[2] Selain itu, Kriteria khusus yang harus dimiliki oleh sebuah kapal selam yaitu kemampuan bermanuver dibawah air, kemampuan untuk memata-matai dan menyerang dari dasar laut tanpa bisa terdeteksi terlebih dahulu^[10] ..

Sebuah kapal selam didesain untuk tidak lambat dalam pergerakannya dibawah air, namun juga harus bergerak senyap dibawah air tanpa terdeteksi. Untuk dapat bergerak senyap dibawah air, kebutuhan yang paling penting bagi baling-baling kapal selam yaitu rendahnya kebisingan

yang ditimbulkan oleh baling-baling/*propeller* tersebut.

Propeller sendiri merupakan salah satu alat gerak kapal mekanik yang memberikan kekuatan dengan mengubah rotasi gerak ke gaya dorong, *propeller* terdiri dari beberapa blade dan *propeller* beroperasi seperti perputaran pada skrup.^[14] Dalam Perkembangannya *propeller*/baling-baling mengalami beberapa modifikasi bentuk dengan tujuan mendapatkan efisiensi yang paling baik sebagai alat penggerak kapal, salah satu modifikasi itu yaitu *skew angle* dan *blade area ratio (Ae/Ao)*.

Kemudian penambahan atau penggunaan *Kort Nozzle Propeller* terbukti dapat meningkatkan gaya dorong/*Thrust*. Fenomena yang terjadi pada *propeller* yang diselubungi

tabung (*Kort Nozzle*) adalah kecepatan aliran air yang berada di dalam tabung lebih cepat dibandingkan aliran air yang berada diluar tabung yang mengakibatkan tekanan didalam tabung lebih kecil dari pada diluar tabung.^[16]

Dengan memperhatikan pokok permasalahan yang terdapat pada latar belakang, maka dapat diambil beberapa rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimanakah perbandingan dari hasil variasi *skew angle, blade area ratio* serta penambahan *Kort Nozzle C Tipe Shushkin Nozzle* terhadap *pressure dan Streamline velocity* pada propeller kapal selam tipe *B-Series* ?
2. Berapakah sudut *skew angle* dan *blade area ratio* yang optimum dengan penambahan *Kort Nozzle C Tipe Shushkin Nozzle* untuk propeller kapal selam tipe *B-Series* dengan variasi yang ada ?

Batasan masalah digunakan sebagai arahan serta acuan dalam penulisan penelitian sehingga sesuai dengan permasalahan serta tujuan yang diharapkan. Adapun batasan permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. *Propeller* yang digunakan adalah
 - Diameter : 1.00 [m]
 - Skew Angle : 29.7°
 - Pitch : 1.09
 - Blade Rasio : 0.59
 - No. Of Blade : 7
 - Type : *B-Series*
2. Data *propeller* diambil dari spek *propeller* yang terdapat di dalam jurnal mendekati kesamaan dimensi dari *propeller* tersebut.
3. Variasi sudut kemiringan *skew angle* adalah 27.7°, 29.7° dan 31.7°
4. Variasi Blade Area Rasio (Ae/Ao) adalah 0.55, 0.59 dan 0,7
5. Jenis *Kort Nozzle* yang digunakan *Kort Nozzle C Tipe Shushkin Nozzle*
6. Hanya membandingkan desain yang ada.
7. Asumsi aliran di depan *propeller* adalah *steady-uniform*
8. Analisa pada keadaan *open water*.

9. *Thruster* dianalisa pada kondisi keadaan statis sesuai dengan putaran yang diinginkan.
10. Hanya menganalisa distribusi aliran fluida dibelakang *thruster*.
11. Mengabaikan faktor maupun kondisi aliran air (fluida) dari badan propeller.
12. Tidak memperhitungkan analisa biaya.
13. Menggunakan *software* analisa CFD yaitu *Ansys CFX*.
14. *Boss Cap* menggunakan bentuk setengah lingkaran
15. Kemiringan pada *Boss* yaitu 5 derajat dari belakang *propeller* hingga *boss cap* *Boss Cap* berbentuk setengah lingkaran.
16. Tidak melakukan variasi bentuk *Boss* atau *Hub*

Berdasarkan latar belakang di atas maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui perbandingan dari hasil variasi *skew angle, blade area ratio* serta penambahan *Kort Nozzle C Tipe Shushkin Nozzle* terhadap *pressure dan Streamline velocity* pada propeller kapal selam tipe *B-Series*.
2. Untuk mendapatkan sudut *skew angle* dan *blade area ratio* yang optimum dengan penambahan *Kort Nozzle C Tipe Shushkin Nozzle* untuk propeller kapal selam tipe *B-Series* dengan variasi yang ada

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Propeller Kapal Selam

Kebutuhan yang paling penting untuk *propeller* kapal selam adalah rendahnya tingkat kebisingan yang ditimbulkan. Oleh karena itu, ditakutkan adanya kavitasi yang menimbulkan kebisingan. Kebisingan disini diakibatkan oleh gelembung-gelembung air yang mendidih.

Parameter yang biasanya dapat bervariasi selama proses desain adalah diameter, jumlah blade, sudut rake, distribusi sirkulasi (*pitch* dan *chamber*) dan geometri *trailing edge*. Untuk kapal selam biasanya ada sedikit pembatasan diameter

daripada kapal permukaan yang normal dan ketika meningkatkan diameter berarti penurunan spesifik gaya dorong *propeller* dan kecepatan aliran rata-rata yang lebih tinggi.^[7]

Beberapa hal yang dibutuhkan oleh sistem propulsi dan juga *propeller*, yaitu^[8]:

- Manuver tinggi muncul dan khususnya dalam kondisi menyelam.
- Peningkatan perlindungan dengan mengurangi emisi kebisingan dan dalam melawan hambatan.
- Baling-baling bebas dari kavitasi dengan memadai margin.
- *Propeller* dengan efisiensi tinggi.

2.2. Karakteristik Baling-baling Kapal

Setiap tipe dari masing-masing baling-baling kapal memiliki karakteristik kurva kinerja yang berbeda-beda. Sehingga kajian terhadap karakteristik baling-baling kapal tidak dapat di-generalisasi untuk keseluruhan bentuk atau tipe dari baling-baling. Persamaan sebagai berikut :

$$J = \frac{Va}{nxD}$$

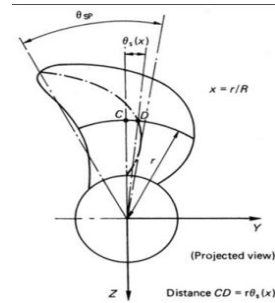
Dimana:

- KT = Koefisien gaya dorong baling-baling
- KQ = Koefisien torsi baling-baling
- J = Koefisien *advanced* baling-baling
- Va = kecepatan *advanced*
- D = diameter *propeller*
- n = putaran *propeller*
- T = *thrust propeller*
- Q = *torque propeller*
- ρ = massa jenis fluida (*fluid density*)

2.3. Skew Angle Propeller

Skew Angle Propeller adalah pengertian yaitu sudut antara *propeller* shaft center line sampai dengan blade tip. Blade tip sendiri adalah pertemuan dari trailing edge dan leading edge pada surface *propeller* dan merupakan jarak maksimum dari radius *propeller*. *Skew Angle* dapat berfungsi untuk mengurangi beban dan

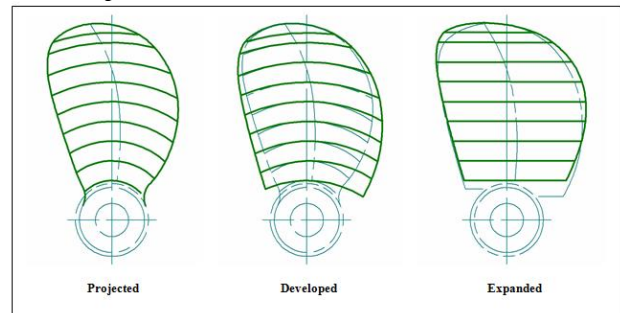
tekanan *propeller* saat memecah aliran fluida.^[2]



Gambar. 1 *Skew Angle Propeller*

2.4. Blade Area Ratio (Ae/Ao)

Blade Area Ratio atau BAR adalah perbandingan antara luasan daun baling baling dengan luas perputaran penuh *blade tip* atau biasa disebut dengan A_0 . Dalam kenyataannya ada 3 type BAR, yaitu : *Projected Area*, *Developed Area*, dan *Expanded area*



Gambar. 2 *Blade Area Ratio (Ae/Ao)*

2.5. Kort Nozzle Propeller

Kort nozzle Propeller merupakan *Propeller* yang memiliki saluran (*duct*) berupa foil yang mengelilingi baling-baling sehingga membentuk selubung atau tabung (*nozzle*). Unit ini juga disebut sebagai tabung *Kort*. *Kort* diambil dari nama Ludwig Kort, yaitu perancang baling-baling tabung (*ducted propeller*) untuk kapal yang pertama; pada tahun 1927.^[15]



Gambar. 3 *Kort nozzle Propeller*

digambarkan dalam flowchart berikut:

2.6. Teori Baling – Baling

Dalam Teori baling-baling^[6], dijelaskan bahwa pada awalnya teori baling-baling dijelaskan dengan cara yang sangat sederhana, yaitu berdasarkan prinsip kerja mur dan baut (*screw & nut*).

2.7.1. Teori Momentun Baling – Baling

Gaya dorong yang dihasilkan oleh bekerjanya baling-baling adalah disebabkan oleh adanya perbedaan momentum yang terjadi pada waktu daun baling-baling bergerak difluida.

Adanya arus air karena berputarnya baling-baling di air, maka akan timbul gaya reaksi yang merupakan gaya yang dihasilkan oleh daun baling-baling. Gaya tersebut merupakan gaya dorong atau *thrust*^[8].

2.7. Computational Fluid Dynamics

Computational Fluid Dynamics (CFD)^[12], merupakan salah satu cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisa permasalahan yang berhubungan dengan aliran fluida. Tujuan CFD untuk memprediksi secara akurat tentang aliran fluida, perpindahan panas dan reaksi kimia yang melibatkan satu atau semua fenomena diatas.

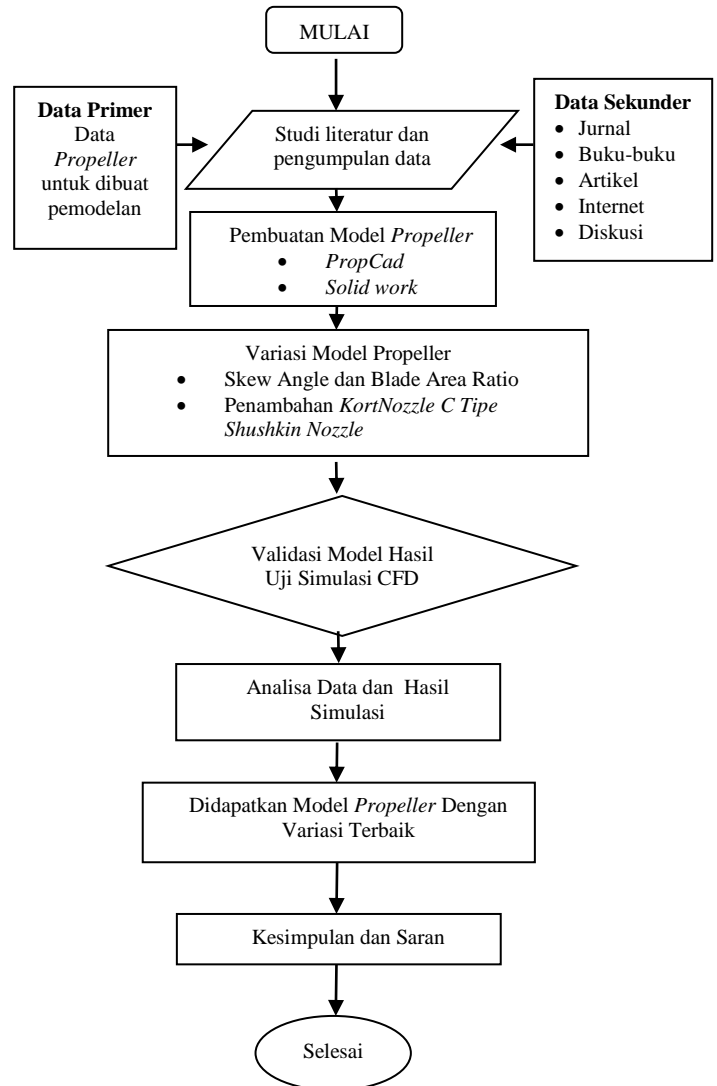
Computational Fluid Dynamics terdiri dari tiga elemen utama yaitu:

- a. *Pre Processor*
- b. *Solver Manager*
- c. *Post Processor*

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir

Metodologi penelitian adalah kerangka dasar dari tahapan penyelesaian penelitian. Metodologi tersebut mencakup semua kegiatan yang akan dilaksanakan untuk memecahkan masalah atau melakukan proses analisa terhadap permasalahan tugas akhir ini. Tahapannya

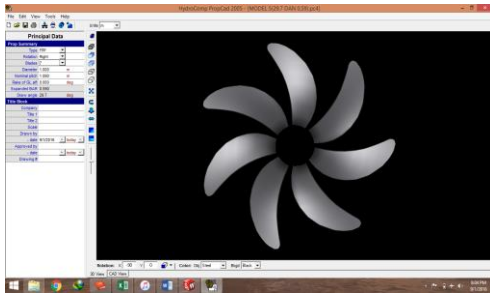


Gambar. 4 Diagram Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

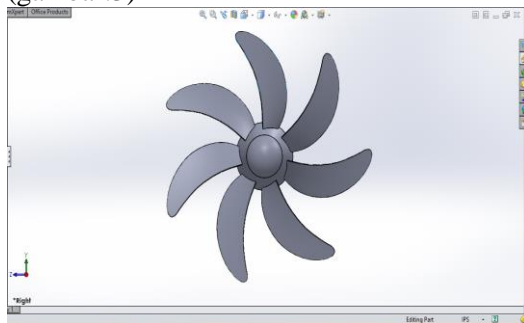
4.1. Pembuatan Model

Data ukuran utama *propeller* diolah menggunakan *software PropCad* (gambar.2) yang merupakan *software* pengolah koordinat baling – baling.



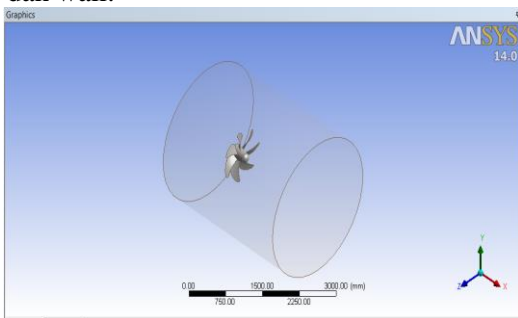
Gambar. 5 Software PropCad

Selanjutnya dilakukan pembuatan 3D model dan melakukan variasi untuk diolah menjadi benda solid sebelum dimasukkan ketahap analisa, pemodelan 3D tersebut menggunakan software solidwork (gambar.3)



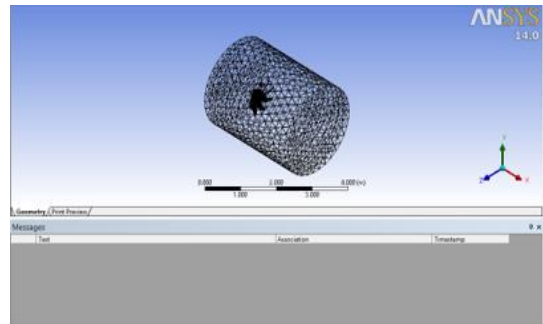
Gambar. 6 Software solidwork

Tahap selanjutnya yaitu geometry dimana model dilakukan pengecekan apakah model sudah solid. Lalu dilakukan pembentuk boundary pada bidang sumbu x y z dan pendefinisian setiap bagian boundary seperti pengaturan inlet, outlet, dan wall.



Gambar. 7 Tahap Geometry

Selanjutnya tahap meshing untuk menentukan ukuran tiap elemen dan mengatur kedetailan melalui ukuran elemen yang kita gunakan.



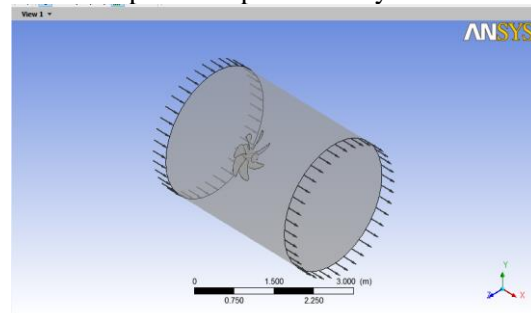
Gambar. 8 Tahap Mesh

Selanjutan kita mengatur setiap kriteria yang kita gunakan dengan mengatur Set-up. Set-up yang digunakan merupakan kriteria yang telah di validasi dahulu sebelumnya sehingga mendapatkan hasil yang memiliki error tidak jauh dari hasil penelitian yang telah dilakukan. Berikut Domain Physics yang digunakan.

Tabel.1 Domain Default

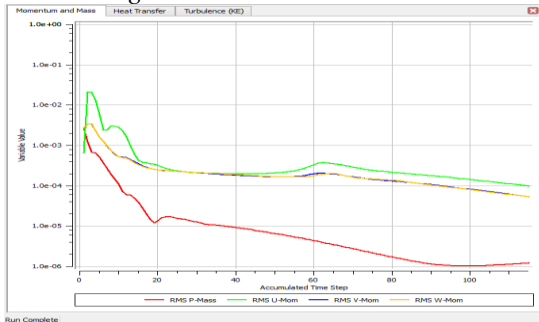
Domain - Default Domain	
Type	Fluid
Location	B619
<i>Materials</i>	
Water	
Fluid Definition	Material Library
Morphology	Continuous Fluid
<i>Settings</i>	
Buoyancy Model	Non Buoyant
Domain Motion	Rotating
Angular Velocity	[rev min ⁻¹]
Axis Definition	Coordinate Axis
Rotation Axis	Coord 0.1
Reference Pressure	1.0000e+00 [atm]
Heat Transfer Model	Isothermal
Fluid Temperature	2.5000e+01 [C]
Turbulence Model	k epsilon
Turbulent Wall Functions	Scalable

Berikut merupakan gambar dari pengaturan set-up pada boundary yang telah dibuat pada tahap sebelumnya.



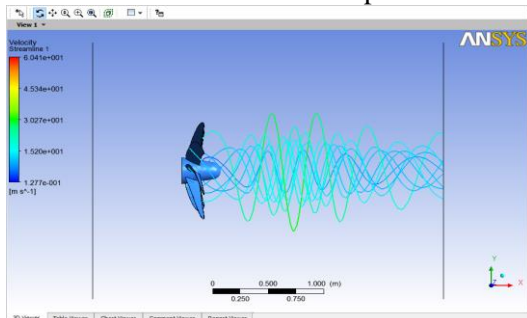
Gambar. 9 *Boundary Set-up*

Tahap *solution* yaitu tahap dimana *boundary* yang telah diberi kriteri dilakukan iterasi hingga didapatkan hasil yang *convergence*.



Gambar. 10 *Convergence model*

Tahap akhir yaitu tahap *post* dimana kita mendapatkan hasil yang dapat disimulasikan baik 3D ataupun 2D.



Gambar. 11 *Result model*

4.2. Validasi Model

Validasi digunakan untuk menentukan *boundary condition* yang tepat untuk menganalisa 4 model *propeller*. Acuan model untuk divalidasi diambil dari pengujian propeller kapal selam^[6], yaitu *propeller* yang digunakan tipe *B-8 series*, berikut data *propeller* untuk di validasi :

- Diameter propeller : 1,00 m
- Jumlah blade : 7
- Pitch/diameter : 1,09
- Skew, Degree : 29,7°

Pada penelitian tersebut diambil rpm yang mendekati rpm yang digunakan pada jurnal. Pada hasil perhitungan dengan CFD pada *software* berbasis CFD adalah sebagai berikut :

Tabel. 2 Perbandingan Hasil uji coba^[5] dengan simulasi CFD

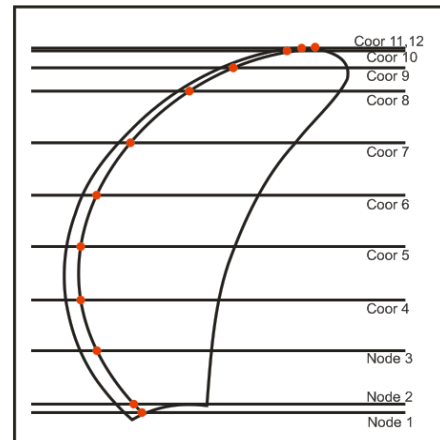
Kecepatan Rotasi (rpm)	Hasil uji coba <i>Coeffisien Thrust</i> (K _T)	Hasil simulasi CFD (K _T)	Error (%)
450	0,098	0,096	2,04 %

4.3. Pembahasan

4.3.1. Pembahasan Perbandingan *Pressure* pada 400,450 dan 500 Rpm

Untuk melakukan perbandingan nilai *Pressure* maka diambil sampel satu garis yang sama pada kesembilan Model yang telah di variasi.

Berikut adalah koordinat dari setiap titik dan garis yang digunakan untuk menentukan *pressure* pada analisa.



Gambar. 12 Koordinat *Pressure*

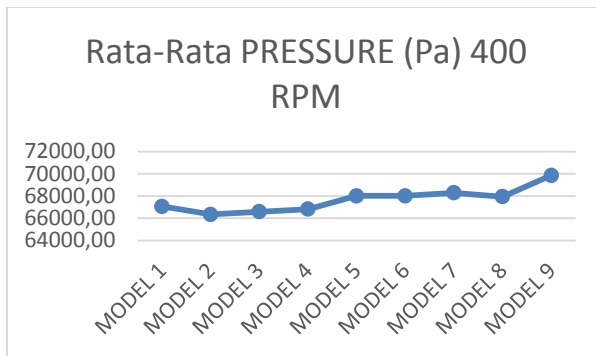
Dari hasil analisa pada 400 rpm *propeller* B-7 Model 2 (27,7° & 0,59) memiliki *pressure* terendah senilai 66342,2 Pa, Seperti yang telah terdapat pada tabel 6 berikut :

Tabel. 3 Tabel *Pressure* Pada 400 RPM

	Total (Pa)	Rata-Rata (Pa)

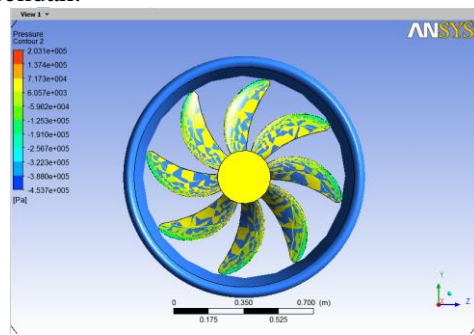
Model 1	804698	67058.2
Model 2	796107	66342.2
Model 3	798993	66582.8
Model 4	801817	66818.1
Model 5	829363	69114.0
Model 6	814594	67882.9
Model 7	819338	68278.2
Model 8	815201	67933.4
Model 9	838258	69854.8

Model 1	866989	72249.1
Model 2	897078	74756.5
Model 3	869771	72480.9
Model 4	890337	741948
Model 5	886882	73906.9
Model 6	868207	72350.6
Model 7	915650	76304.1
Model 8	911910	75992.5
Model 9	895474	74622.8



Gambar. 16 Grafik Rata-rata Pressure 400 rpm

Pada simulasi *conture* didapatkan *propeller* B-7 Model 2 ($27,7^{\circ}$ & 0,59) memiliki warna dengan nilai pressure yang rendah.

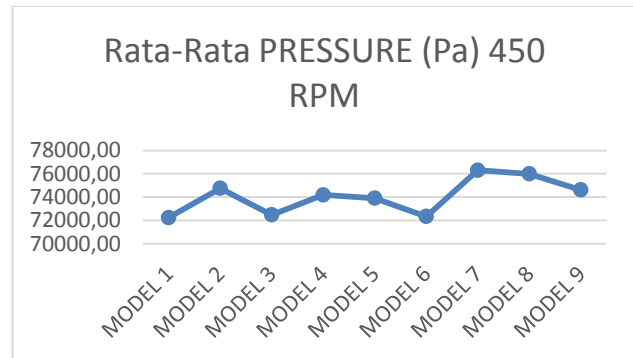


Gambar 4.13 Pressure Contour pada back side 400 RPM Model 2 ($27,7^{\circ}$ & 0,59)

Dari hasil analisa pada 450 rpm *propeller* B-7 Model 6 ($29,7^{\circ}$ & 0,70) memiliki *pressure* terendah senilai 72350,6 Pa, Seperti yang telah terdapat pada tabel 7 berikut:

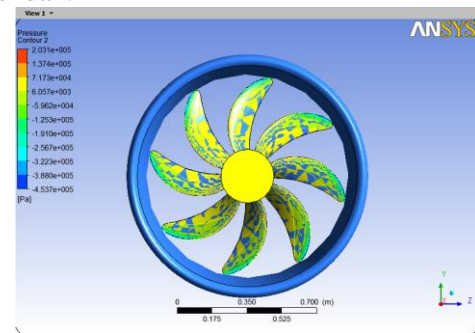
Tabel. 4 Tabel Pressure pada 450 RPM

	Total (Pa)	Rata-Rata (Pa)



Gambar. 18 Grafik Rata-rata Pressure 450 rpm

Pada simulasi *conture* didapatkan *propeller* B-7 Model 6 ($29,7^{\circ}$ & 0,70) memiliki warna dengan nilai *pressure* yang rendah.



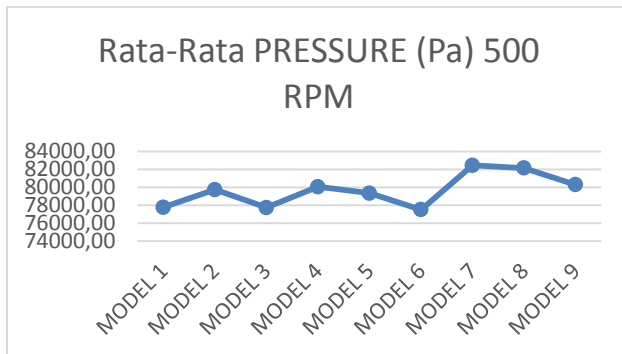
Gambar. 14 Pressure Contour pada back side 450 RPM Model 6 ($29,7^{\circ}$ & 0,70)

Dari hasil analisa pada 500 rpm *propeller* B-7 Model 6 ($29,7^{\circ}$ & 0,70) memiliki *pressure* terendah senilai 77499,5 Pa, Seperti yang telah terdapat pada tabel 8 berikut:

Tabel. 5 Tabel Pressure pada 500 RPM

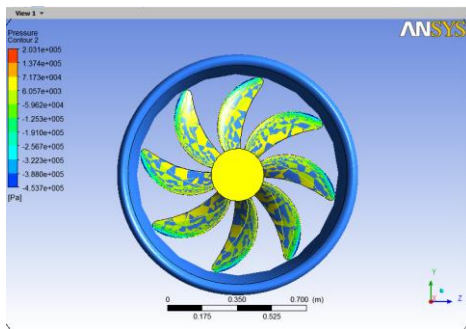
	Total (Pa)	Rata-Rata (Pa)
Model 1	933099	77758.2

Model 2	956609	79717.4
Model 3	932767	77730.6
Model 4	960543	80045.3
Model 5	952050	79337.5
Model 6	929993	77499.5
Model 7	989282	82440.2
Model 8	985607	82133.9
Model 9	963360	80280



Gambar. 15 Grafik Rata-rata *Pressure* 500 rpm

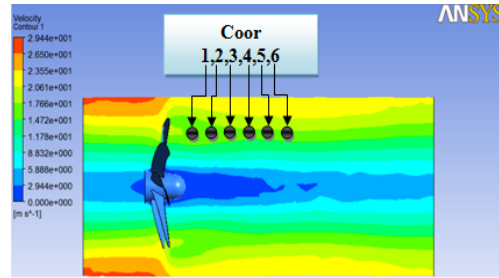
Pada simulasi *conture* didapatkan *propeller B-7* Model 6 ($29,7^0$ & $0,70$) memiliki warna dengan nilai *pressure* yang rendah.



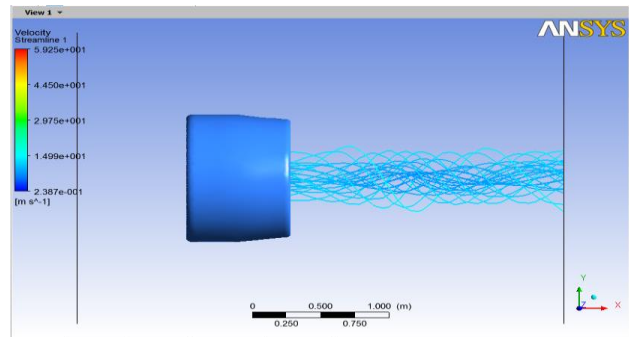
Gambar. 16 *Pressure Contour* pada *back side* 500 RPM Model 6 ($29,7^0$ & $0,70$)

4.3.2. Pembahasan Perbandingan *Streamline Velocity* pada 400,450 dan 500 Rpm

Berikut adalah koordinat untuk menentukan kecepatan rata - rata pada analisa:

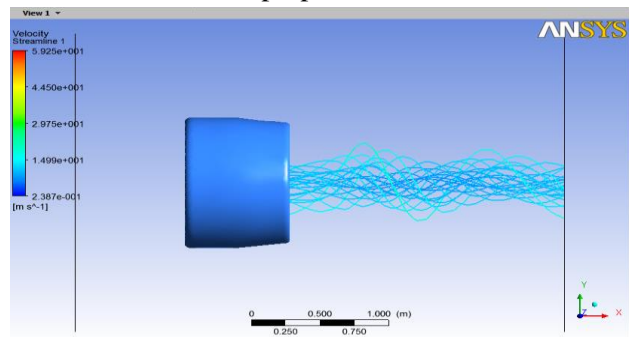


Gambar. 17 Koordinat *Velocity* Setelah dibandingkan pada putaran 400 rpm didapatkan bentuk aliran paling baik pada *propeller B-7 series* Model 5 ($29,7^0$ & $0,59$) dengan nilai kecepatan rata-rata 15,65 m/s, berikut simulasi aliran *propeller* :



Gambar. 18 Aliran RPM 400 Model 5 ($29,7^0$ & $0,59$) with *Nozzle Shushkin Type C*

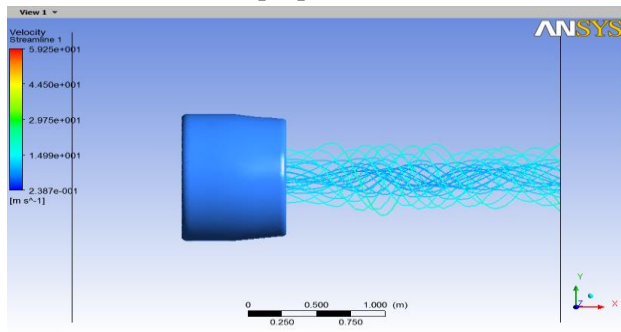
Lalu dilakukan pengujian lagi pada putaran 450 rpm namun tetap didapatkan aliran terbaik pada *propeller B-7 series* Model 5 ($29,7^0$ & $0,59$) dengan nilai kecepatan rata-rata 17,10 m/s , berikut simulasi aliran *propeller*



Gambar. 19 Aliran RPM 450 Model 5 ($29,7^0$ & $0,59$) with *Nozzle Shushkin Type C*

Kemudian juga dilakukan pengujian lagi pada putaran 500 rpm namun tetap

didapatkan aliran terbaik pada *propeller B-7 series* Model 3 ($27,7^0$ & $0,70$) dengan nilai kecepatan rata-rata $18,33$ m/s , berikut simulasi aliran propeller



Gambar. 20 Aliran RPM 500 Model 3 ($27,7^0$ & $0,70$) with Nozzle Shushkin Type C

Dari penyajian gambar, grafik dan tabel di atas pada tabel 3 sampai dengan tabel 8 dan gambar 12 dan 13 gambar Menunjukkan perbandingan sifat *propeller* sebagai berikut :

1. Nilai rata-rata *pressure* terendah pada 400 RPM dihasilkan oleh *Propeller B-7 Series* Model 2 ($27,7^0$ & $0,59$) dengan nilai $66342,2$ Pa. Sedangkan nilai rata-rata *pressure* terendah pada 450 RPM dihasilkan oleh *Propeller B-7 Series* Model 6 ($29,7^0$ & $0,70$) dengan nilai $72350,6$ Pa. Kemudian nilai rata-rata *pressure* terendah pada 500 RPM dihasilkan oleh *Propeller B-7 Series* Model 6 ($29,7^0$ & $0,70$) dengan nilai $77499,5$ Pa.
2. Perbandingan Model Streamline velocity didapatkan hasil bahwa *Propeller B-8 Series* Model 3 ($27,7^0$ & $0,70$) 500 RPM memiliki turbulensi terkecil dengan kecepatan rata-rata $18,33$ m/s dikarenakan memiliki garis turbulensi paling teratur.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan percobaan dan simulasi yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Setelah mendapatkan hasil dari *propeller B-7 Series* dengan variasi

sudut *Skew Angle* dan *Blade Area Ratio* (Ae/Ao) yang berjumlah 9 Model, maka dilakukan perbandingan antara putaran 400 RPM, 450 RPM dan 500 RPM. Pada RPM 400 didapat hasil untuk nilai *pressure* terendah senilai $66,34$ kPa pada Model 2 ($27,7^0$ & $0,59$) dan aliran turbulensi terendah yaitu $15,65$ m/s pada model 5 ($29,7^0$ & $0,59$). Pada RPM 450 didapat hasil untuk nilai *pressure* terendah senilai $72,35$ kPa pada Model 6 ($29,7^0$ & $0,70$) dan aliran turbulensi terendah yaitu $17,10$ m/s pada model 5 ($29,7^0$ & $0,59$). Pada RPM 500 didapat hasil untuk nilai *pressure* terendah senilai $77,50$ kPa pada Model 6 ($29,7^0$ & $0,70$), dan aliran turbulensi terendah yaitu $18,33$ m/s pada model 3 ($27,7^0$ & $0,70$).

2. Dari Perbandingan di atas didapatkan *propeller* yang optimum untuk digunakan pada kapal selam *Midget Type 150m* yaitu *Propeller B – 7 series* yaitu model dengan *skew angle* $27,7^0$ dan *blade area ratio* $0,59$ atau pada Model 2 dengan nilai rata-rata tekanan $66,34$ kPa, dan aliran turbulensi dengan kecepatan rata - rata $15,51$ m/s.

Daftar Pustaka

- [1] Abdilla C, Insanu. 2015. *Analisa Perbandingan Propeller Kapal Selam Tipe B-Series dan Au- Outline Gawn Series Pada Kapal Selam MIDGET TYPE 150M Untuk Mengoptimalkan Kinerja Kapal Selam Dengan Metode CFD*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Perkapalan, UNDIP. SEMARANG.
- [2] Huda W, Rizkhal. 2011. *Analisa Pengaruh Skew Angle Terhadap Performa Propeller Dengan Pendekatan CFD*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Perkapalan ITS : Surabaya
- [3] Carlton, J. 2007. *Marine Propellers and Propulsion*, 2nd Edition. Butterworth-Heinemann
- [4] Hafiz, Dian. 2011. *Analisa Pengaruh Aliran Fluida Yang Ditimbulkan Oleh Gerakan Putaran Propeller Pada Kapal Ikan*

- Terhadap Tekanan Propeller dengan Pendekatan CFD. Semarang : UNDIP*
- [5] Simbolon, Herbet. 2015, *Analisa Nilai Maximum Thrust Propeller B-Series dan Kaplan Series Pada kapal Tugboat Ari 400 HP dengan Variasi Diameter, Jumlah Daun, Sudut Rake Menggunakan CFD, Tugas akhir, Jurusan Teknik Perkapalan, UNDIP : Semarang.*
- [6] Manik, Parlindungan, 2008, *Buku Ajar Propulsi Kapal*, Jurusan Teknik Perkapalan, UNDIP: Semarang
- [7] Paul Anderson, Jens J.Kappel, Eugen Spangenberg, 2009, *Aspects of Propeller Developments for a Submarine*, Department
- [8] Prof Joulbert, P.N, 2004, *Some Aspect of Submarine Design Part 1 Hydrodynamics*, Australian Government: Australian
- [9] Purwanto, Ajib Wahab, 2014, *Analisa pengaruh variasi hullform terhadap hambatan total kapal selam dengan Metode CFD, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Perkapalan, UNDIP: Semarang.*
- [10] Kuiper,G. 1992. *The Wageningen Propeller Series.Institut fur Schiffbau Dar Universitit Hamburg.*
- [11] Cahyaning Ati,Wisnu, 2011, *Analisa Pengaruh Variasi Sudut Rake Propeller B-Series Terhadap Distribbusi Aliran Fluida Dengan Metode CFD, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, ITS: Surabaya*
- [12] Huda,Nurul, 2013, *Analisa pengaruh Energy Saving Device pada Propeller dengan Metode CFD, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Perkapalan, UNDIP: Semarang*
- [13] Mairuhu, Thomas, 2010,*Pengaruh pergantian motor induk di kapal terhadap efisiensi system propulsi, Jurnal TEKNOLOGI, Jurusan Teknik Perkapalan, UNPATTI*
- [14] Samsu Huda, Ismail, 2011, *Perancangan program pemilihan propeller jenis wegeningen B-Seried berbasis efisiensi, Tugas Akhir, jurusan Teknik Sistem Perkapalan, FTK-ITS*
- [15] Rakhmadi, Wasisto, 2016, *Analisa Perbandingan Kort Nozzle Terhadap Gaya Dorong Propeller Dengan Metode CFD, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Perkapalan, UNDIP: Semarang.*
- [16] Abidin, Zaenal, 2015, *Komparasi Desain Dan Analisa Underwater Thruster Pada Remotely Operated Vehicle (ROV) Dengan Metode CFD, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Perkapalan, UNDIP: Semarang.*