

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

Putra Bangkit Setya Budi¹⁾, Deddy Chrismianto¹⁾, Good Rindo¹⁾

¹⁾Departemen 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 3 (27.7° & 0,70) putaran 400 RPM dengan nilai *thrust* sebesar 21,66 kN, rata-rata tekanan 66,58 Pa, dan aliran turbulen dengan kecepatan rata - rata 15,51 m/s serta nilai efisiensi sebesar 0,868.

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

ABSTRACT

The submarine is vessel able of operating under water with a self contained , but it must also move silently below the water without being detected . Therefore one of the most important need in the submarine is a propeller. Submarine propeller need some spesific criteria and that criteria is propeller can give bigger amount of thrust with noiseless .So propeller design must has high thrust value, low pressure value, and smooth propeller streamline.This research analysis submarine propeller B-7 Serires with Skew Angle wariations ($27,7^{\circ}$ & 0,70) and Blade Area Ratio (0.55, 0.59, & 0.70) with installation Kort Nozzle C Type Shushkin Nozzle , So we get the optimum propeller for submarine midget type 150 m with Computational Fluid Dynamic (CFD) program support. On the analysis process use software with CFD basic, we get result from all propellers model that is different between streamline form, thrust value, and pressure value cause different value of RPM that given. From 9th model that have been compared, we get the optimum propeller that is B – 8 series in 500 rpm with thrust value 21,66 kN, average value pressure 66,58 kPa, and turbulence flow with average value velocity stream 15,51 m/s as well as the efisiensi value is 0.868.

Keyword : submarine , propeller, skew angle, Blade Area Ratio (Ae/Ao), CFD

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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]

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimanakah pengaruh *skew angle, blade area ratio* serta penambahan

Kort Nozzle C Tipe Shushkin Nozzle terhadap *thrust, streamline*, serta *pressure* yang terjadi pada propeller kapal selam tipe *B-Series* ?

2. Bagaimanakah perbandingan dari hasil variasi *skew angle, blade area ratio* serta penambahan *Kort Nozzle C Tipe Shushkin Nozzle* pada propeller kapal selam tipe *B-Series* ?
3. 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 ?

1.3 Batasan Masalah

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*

1.4 Tujuan Masalah

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

1. Untuk mengetahui pengaruh *skew angle, blade area ratio* serta penambahan *Kort Nozzle C Tipe Shushkin Nozzle* pada propeller kapal selam tipe *B-Series*.
2. Untuk mengetahui perbandingan dari hasil variasi *skew angle, blade area ratio* serta penambahan *Kort Nozzle C Tipe Shushkin Nozzle* pada propeller kapal selam tipe *B-Series*.
3. Untuk mendapatkan *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.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Propeller Kapal Selam

Kebutuhan yang paling penting untuk *propeller* kapal selam adalah rendahnya tingkat kebisingan yang ditimbulkan. Oleh karena

$$\text{itu, } K_T = \frac{T}{\rho \cdot n^2 \cdot D^4} \quad K_Q = \frac{Q}{\rho \cdot n^2 \cdot D^5}$$

ditakutkannya 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 oleh system 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 :

$$J = \frac{V_a}{n \cdot x D}$$

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*

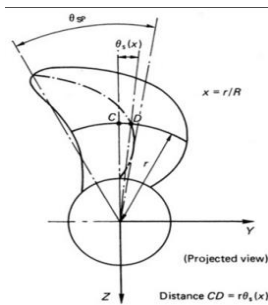
Q = *torque propeller*

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*

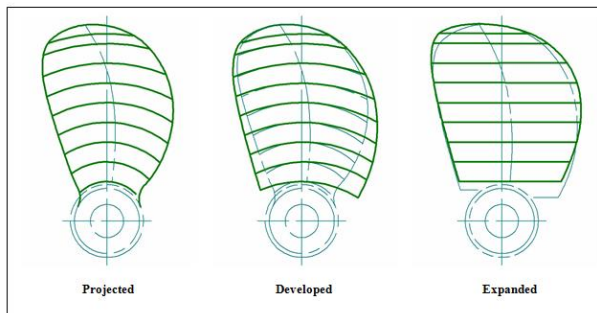
dapat berfungsi untuk mengurangi beban dan tekanan propeller saat memecah aliran fluida.^[2]



Gambar. 1 *Skew Angle Propeller*

2.4 Blade Area Ratio (Ae/Ao)

Blade Area Rasio 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*

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].

2.6 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.

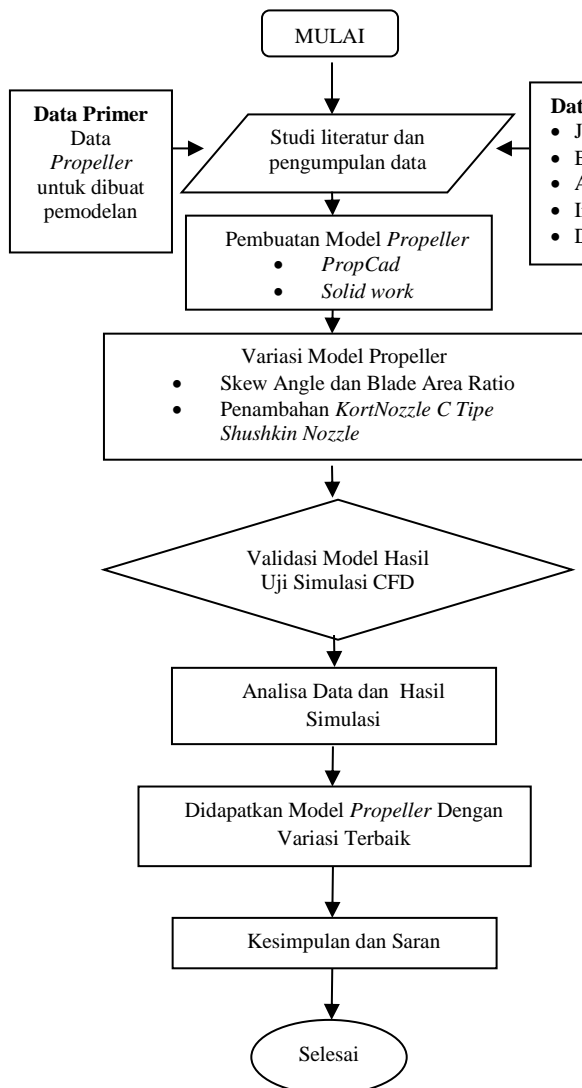
Computational Fluid Dynamics terdiri dari tiga elemen utama yaitu:

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

III. METODOLOGI

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 digambarkan dalam flowchart berikut:

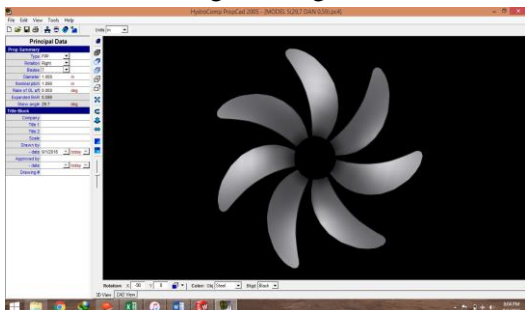


Gambar. 4 Diagram Alir Penelitian

IV. PEMBAHASAN

4.1. Pembuatan Model

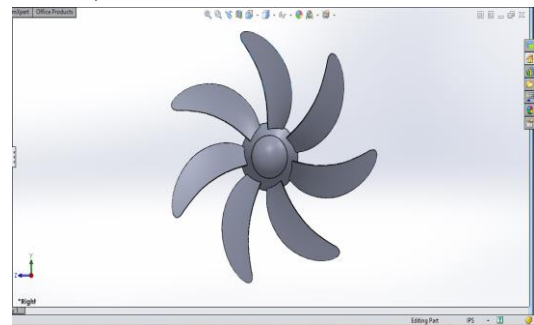
Data ukuran utama *propeller* diolah menggunakan *software PropCad* (gambar.2) yang merupakan *software* pengolah koordinat baling – baling.



Gambar. 5 Software PropCad

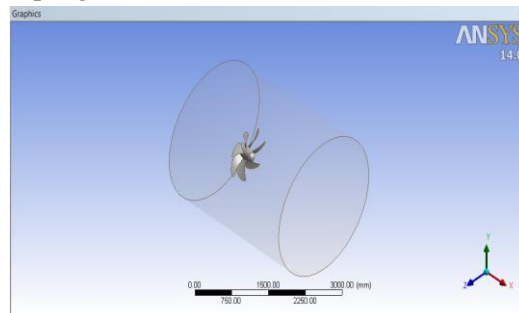
Selanjutnya dilakukan pembuatan 3D model dan melakukan variasi untuk diolah menjadi benda solid sebelum dimasukkan ketahap analisa, pemodelan 3D tersebut

menggunakan *software solidwork* (gambar.3)



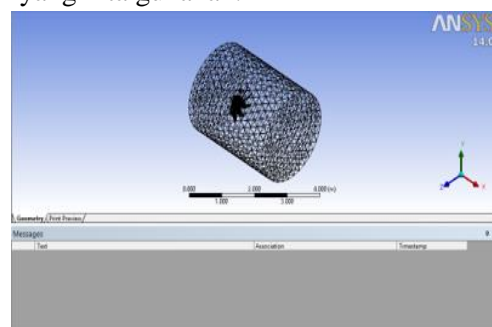
Gambar. 6 Software solidwork

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.



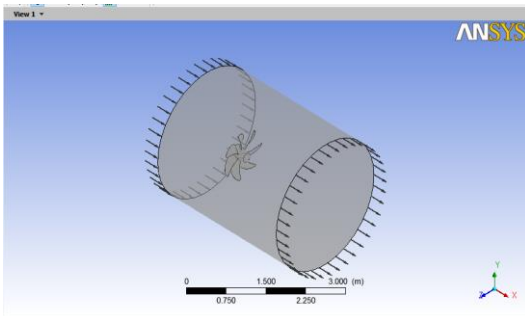
Gambar. 8 Tahap Mesh

Selanjutnya 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

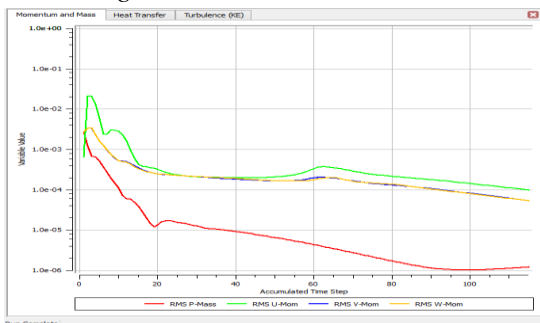
Domain - Default Domain	
Type	Fluid
Location	B619
Materials	
Water	
Fluid Definition	Material Library
Morphology	Continuous Fluid
Settings	
Buoyancy Model	Non Buoyant
Domain Motion	Rotating
Angular Velocity	[rev min ⁻¹]
Axis Definition	Coordinate Axis
Rotation Axis	Coord 0.1
Reference Pressure	1.0000e+00 [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.



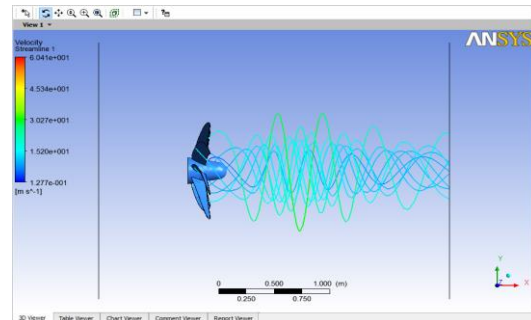
Gambar. 9 Boundary Set-up

Tahap *solution* yaitu tahap dimana *boundary* yang telah diberi kriteria 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 *Thrust, Torque* dan *Effisiensi* pada 400,450 dan 500 Rpm

Dari hasil analisa *thrust* tertinggi pada 400 RPM yaitu *propeller B-7 Series Model 3* (27,7° & 0,70) dengan nilai 21658,2 N. Sedangkan untuk nilai *torque* terendah

pada 400 RPM yaitu Model 7 (31,7⁰ & 0,55) dengan nilai 3316,11 Nm. Serta untuk nilai *Effisiensi* paling baik pada Model 3 (27,7⁰ & 0,70) dengan nilai 0,868. Seperti yang telah terdapat pada tabel 3 berikut :

Tabel.3 Tabel *Thrust*, *Torque* dan *Effisiensi* *Propeller* Pada 400 RPM

	THRUST (N)	TORQUE (Nm)	EFFISIENSI
MODEL 1	18773,2	3391,61	0,859
MODEL 2	19546,5	3523,11	0,861
MODEL 3	21658,2	3873,09	0,868
MODEL 4	18307,1	3321,38	0,856
MODEL 5	19200,8	3479,67	0,857
MODEL 6	21381,1	3837,65	0,865
MODEL 7	18271,9	3316,11	0,855
MODEL 8	19168,6	3464,06	0,859
MODEL 9	21361,7	3832,91	0,863

Dari hasil analisa *thrust* tertinggi pada 450 RPM yaitu *propeller B-7 Series* Model 3 (27,7⁰ & 0,70) dengan nilai 26667,2 N. Sedangkan untuk nilai *torque* terendah pada 450 RPM yaitu Model 7 (31,7⁰ & 0,55) dengan nilai 4045,06 Nm. Serta untuk nilai *Effisiensi* paling baik pada Model 3 (27,7⁰ & 0,70) dengan nilai 0,767. Seperti yang telah terdapat pada tabel 4 berikut:

Tabel. 4 Tabel *Thrust*, *Torque* dan *Effisiensi* *Propeller* Pada 450 RPM

	THRUST (N)	TORQUE (Nm)	EFFISIENSI
MODEL 1	22953,3	4145,73	0,764
MODEL 2	24082,7	4331,3	0,761
MODEL 3	26667,2	4760,1	0,767
MODEL 4	22344	4054,19	0,754
MODEL 5	23591,5	4268,97	0,757
MODEL 6	26662,6	4762,48	0,766
MODEL 7	22289,6	4045,06	0,754

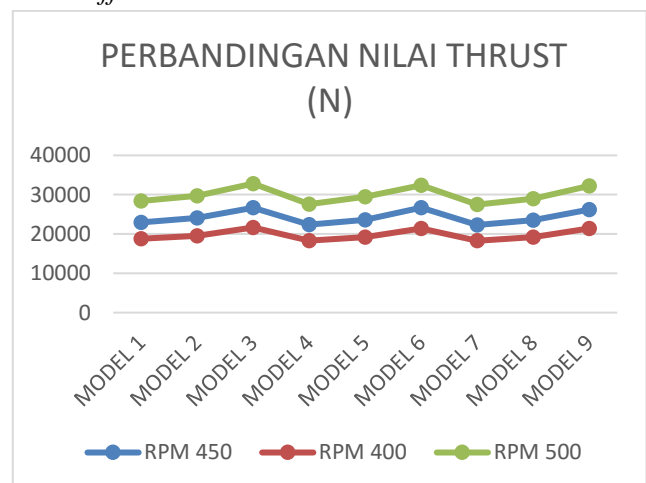
MODEL 8	23517,9	4243,83	0,759
MODEL 9	26188,5	4978,74	0,764

Dari hasil analisa *thrust* tertinggi pada 500 RPM yaitu *propeller B-7 Series* Model 3 (27,7⁰ & 0,70) dengan nilai 26667,2 N. Sedangkan untuk nilai *torque* terendah pada 500 RPM yaitu Model 7 (31,7⁰ & 0,55) dengan nilai 4944,36 Nm. Serta untuk nilai *Effisiensi* paling baik pada Model 3 (27,7⁰ & 0,70) dengan nilai 0,696. Seperti yang telah terdapat pada tabel 5 berikut :

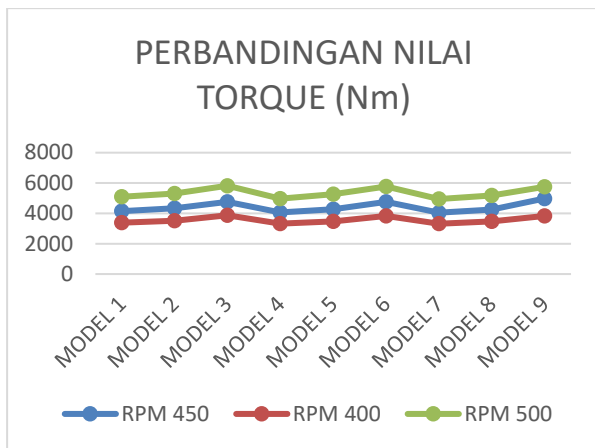
Tabel.5 Tabel *Thrust*, *Torque* dan *Effisiensi* *Propeller* Pada 500 RPM

	THRUST (N)	TORQUE (Nm)	EFFISIENSI
MODEL 1	28440,9	5088,81	0,694
MODEL 2	29699,2	5300,31	0,696
MODEL 3	32818,1	5821,44	0,700
MODEL 4	27568,2	4958,87	0,690
MODEL 5	29452,5	5272,23	0,694
MODEL 6	32387,3	5761,61	0,698
MODEL 7	27485,7	4944,36	0,690
MODEL 8	28997,5	5188,05	0,694
MODEL 9	32241,8	5744,26	0,697

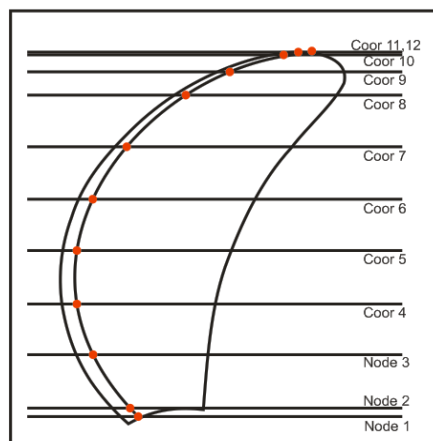
Berikut ini merupakan grafik perbandingan nilai *thrust*, *torque* dan *effisiensi* :



Gambar. 12 Perbandingan nilai Thrust (N) pada RPM 400,450, dan 500



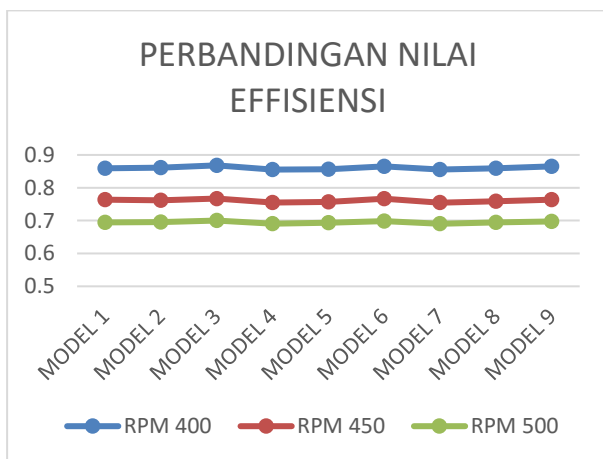
Gambar. 13 Perbandingan nilai Torque (Nm) pada RPM 400,450, dan 500



Gambar. 15 Koordinat *Pressure*

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

Tabel. 6 Tabel *Pressure* Pada 400 RPM



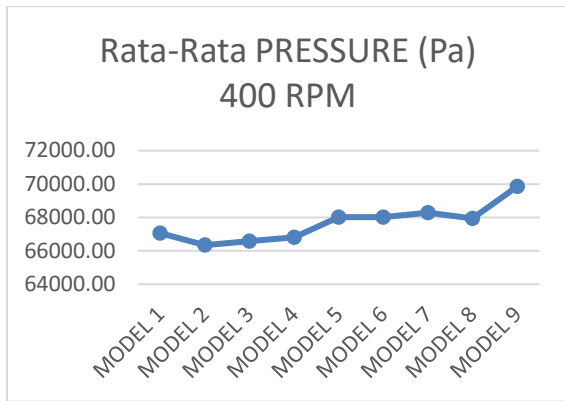
Gambar. 14 Perbandingan nilai Effisiensi pada RPM 400,450, dan 500

4.3.2 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.

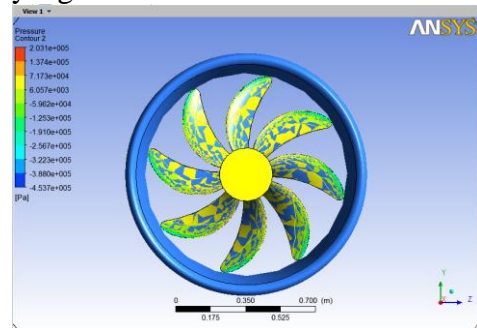
Berikut adalah koordinat dari setiap titik dan garis yang digunakan untuk menentukan *pressure* pada analisa.

	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6	Model 7	Model 8	Model 9
Coor 1	42381	41594.6	39478.4	41679.4	41393.6	41393.6	41185	40799.8	40854.1
Coor 2	43771.5	43086.4	41605.8	43135.1	42725.8	42725.8	42557.9	42080.9	41883
Coor 3	47678.3	47235.3	44561.2	47249.8	47086	47086	46083.9	45764.9	45517
Coor 4	56956	56551.9	51302.6	56413.3	55671	55671	52857.2	54287.1	52872.2
Coor 5	58772.7	58393	54885.6	57460.9	58514.7	58514.7	56004.9	56411.3	55611
Coor 6	66004.8	64892.5	61578	63487.3	64768.5	64768.5	62349.2	62612.5	62932.6
Coor 7	66156.6	66190.8	65865.6	64063	67430.1	67430.1	65543	65777.3	62053.3
Coor 8	85255.1	82599.5	81729.3	81627.8	82706.9	82706.9	83301.8	82527.9	83330.1
Coor 9	85993	86600.2	87925.7	84586.3	87195.2	87195.2	88534.4	85007.2	93468
Coor 10	81286.1	82531.7	86225.9	82765.7	85830.5	85830.5	90491.8	87613.1	94097.8
Coor 11	92566.1	87324.6	95772.2	93356.7	96417.1	96417.1	99619.1	100110	105243
Coor 12	77876.6	79106.3	88062.7	85991.5	86430.5	86430.5	90810	92208.6	100396
Total	804698	796107	798993	801817	816170	816170	819338	815201	838258
Rata-rata	67058.2	66342.2	66582.8	66818.1	68014.2	68014.2	68278.2	67933.4	69854.8



Gambar. 16 Grafik Rata-rata *Pressure* 400 rpm

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

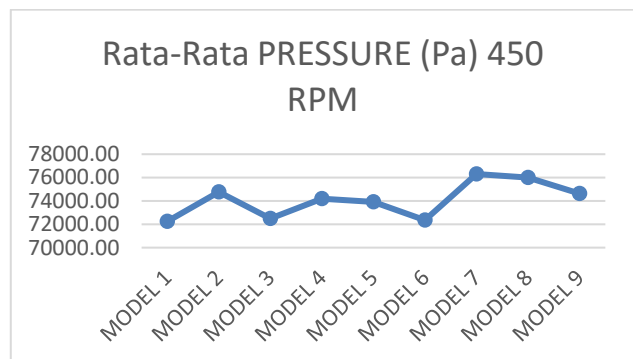


Gambar 4.17 *Pressure Contour* pada back side 400 RPM Model 2 ($27,7^0$ & $0,59$)

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

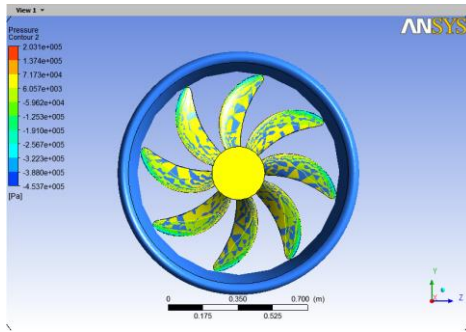
Tabel. 7 Tabel *Pressure* pada 450 RPM

	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6	Model 7	Model 8	Model 9
Coor 1	40213.3	42196.6	39587.9	41564.4	41551	40339.2	42053.8	41585.5	40239
Coor 2	42348.4	43889	41263.4	43450.3	43259.9	41690.1	43679.6	43083	41879.5
Coor 3	47535.1	49780.8	46178.9	47587.3	48463.9	46939	48220.1	47858.8	47008.4
Coor 4	60205.4	62192.4	55478	59729.1	58857.5	56407.2	60888.8	58573.5	56746
Coor 5	62634.3	64401.4	58698.6	62585.2	62139.5	59274.2	63167.3	62085.8	60522.4
Coor 6	71965	74462.7	67733.5	69819.2	71087.1	66588.9	71734.9	70829.3	69924.1
Coor 7	74698.5	75194.3	72299.4	72594.9	72149.6	71303.6	73778.4	74546.1	71454.3
Coor 8	95985.7	90694.1	93875	94722.2	94587.8	92569.4	97310.6	94886.5	95170.5
Coor 9	95942.5	97761.7	99432.2	100400	98965.1	95805.5	99112.9	99914.2	97911.5
Coor 10	88445.6	100127	96336.5	95073.6	93365	95962.9	98722.3	99464.4	97415.8
Coor 11	102056	109915	104460	107999	106666	106236	112374	111737	110749
Coor 12	84959.4	86462.6	94427.8	94812	95790	95091.4	104607	107346	106453
Total	866989	897078	869771	890337	886882	868207	915650	911910	895474
Rata-rata	72249.1	74756.5	72480.9	74194.8	73906.9	72350.6	76304.1	75992.5	74622.8



Gambar. 18 Grafik Rata-rata *Pressure* 450 rpm

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

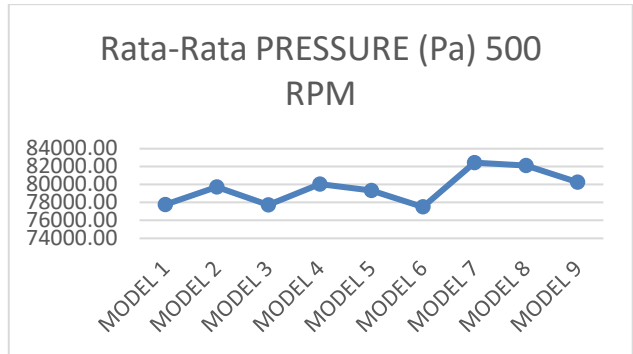


Gambar. 19 Pressure Contour pada back side 450 RPM Model 6 (29,7° & 0,70)

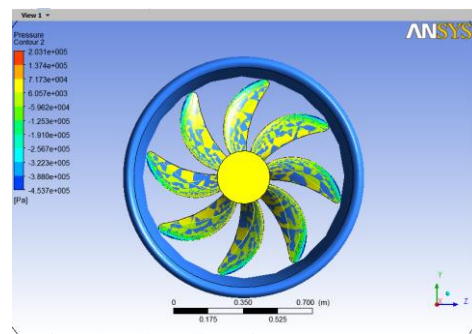
Dari hasil analisa pada 500 rpm propeller B-7 Model 6 (29,7° & 0,70) memiliki pressure terendah senilai 77499,5 Pa, Seperti yang telah terdapat pada tabel 8 berikut:

Tabel. 8 Tabel Pressure pada 500 RPM

	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6	Model 7	Model 8	Model 9
Coor 1	37402	39734.1	36497	38991.5	38624.2	36923.5	39468.8	38985	37067.7
Coor 2	40061.6	41850.7	38607.5	41349	40754.6	38617	41515.4	40860.1	39115.5
Coor 3	46798.1	49512.8	45061.3	46841.3	47587	45508	47499	47086	45846.3
Coor 4	62825.3	65109.2	56779.1	62217.2	60845.3	57613.5	63481.2	60491.2	58019.2
Coor 5	65857.8	67846.4	60734.9	65887.1	63204.4	61301.1	66400.4	64811	62879.2
Coor 6	77318.2	80037.9	71760.8	74645	76137.8	70462.7	76787.5	75545.6	74620
Coor 7	80995.2	81453.2	77785	78411.3	77728.6	76592.6	79676.8	80682.1	76875.9
Coor 8	106918	106516	103822	105076	105068	102455	108142	105438	105574
Coor 9	107317	109323	111094	112528	110665	106880	110869	112041	109340
Coor 10	98488.5	100975	107660	106449	104109	107315	110530	111822	109024
Coor 11	114803	118096	117452	121901	120161	119750	126914	126438	124991
Coor 12	94313.8	96154.5	105513	106247	107165	106575	117998	121407	120007
Total	933099	956609	932767	960543	952050	929993	989282	985607	963360
Rata-rata	77758.2	79717.4	77730.6	80045.3	79337.5	77499.5	82440.2	82133.9	80280



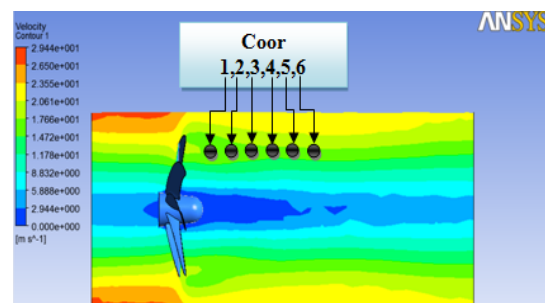
Gambar. 20 Grafik Rata-rata Pressure 500 rpm Pada simulasi contour didapatkan propeller B-7 Model 6 (29,7° & 0,70) memiliki warna dengan nilai pressure yang rendah.



Gambar. 21 Pressure Contour pada back side 500 RPM Model 6 (29,7° & 0,70)

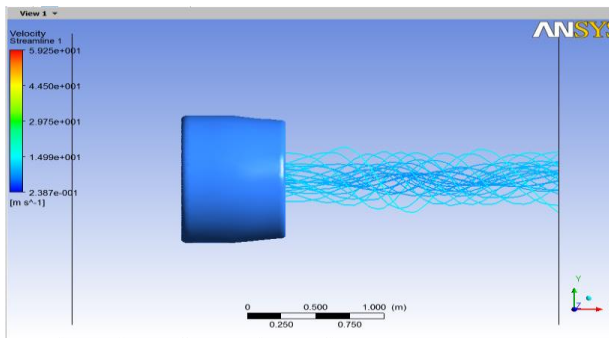
4.3.4 Pembahasan Perbandingan Simulasi Turbulensi pada 400,450 dan 500 Rpm.

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



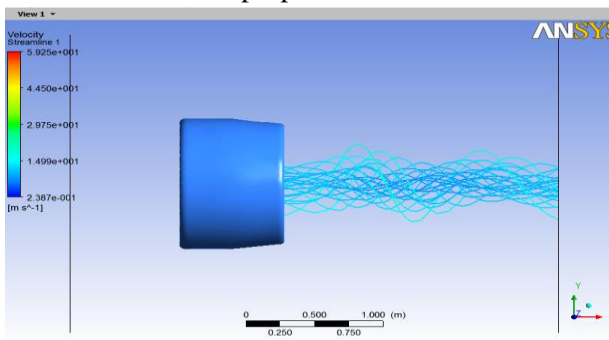
Gambar. 22 Koordinat Velocity

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



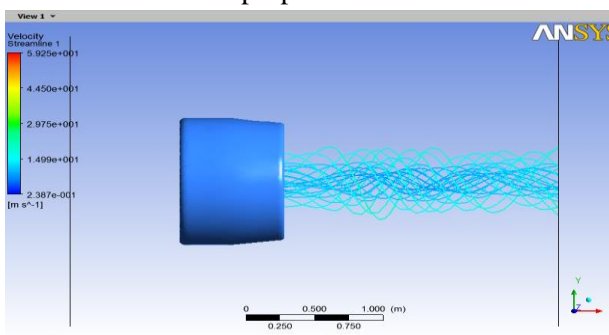
Gambar. 23 Aliran RPM 400 Model 5 ($29,7^{\circ}$ & $0,59$) with Nozzle Shushkin Type C

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



Gambar. 24 Aliran RPM 450 Model 5 ($29,7^{\circ}$ & $0,59$) 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 ($27,7^{\circ}$ & $0,70$) dengan nilai kecepatan rata-rata 18,33 m/s , berikut simulasi aliran propeller



Gambar. 25 Aliran RPM 500 Model 3 ($27,7^{\circ}$ & $0,70$) with Nozzle Shushkin Type C

Dari penyajian gambar, grafik dan tabel di atas pada tabel 3 sampai dengan tabel 8

dan gambar 12 hingga gambar 25 Menunjukkan perbandingan sifat *propeller* sebagai berikut :

1. Nilai *thrust* terbesar pada 400 RPM, 450 RPM dan 500 RPM dihasilkan oleh *Propeller B-8 Series* Model 3 ($27,7^{\circ}$ & $0,70$) dengan nilai 21658,2 N, 26667,2 N dan 32818,1 N.
2. Nilai *torque* terendah pada 400 RPM, 450 RPM dan 500 RPM dihasilkan oleh *Propeller B-8 Series* Model 7 ($31,70^{\circ}$ & $0,55$) dengan nilai 3316,11 N.m, 4045,06 N.m dan 4944,36 N.m.
3. Nilai *effisiensi* terbesar pada 400 RPM, 450 RPM dan 500 RPM dihasilkan oleh *Propeller B-7 Series* Model 3 ($27,7^{\circ}$ & $0,70$) dengan nilai 0.868, 0.767 dan 0.700.
4. Nilai rata-rata *pressure* terendah pada 400 RPM dihasilkan oleh *Propeller B-7 Series* Model 2 ($27,7^{\circ}$ & $0,59$) dengan nilai 66342,2 Pa. Sedangkan nilai rata-rata *pressure* terendah pada 450 RPM dihasilkan oleh *Propeller B-7 Series* Model 6 ($29,7^{\circ}$ & $0,70$) dengan nilai 72350,6 Pa. Kemudian nilai rata-rata *pressure* terendah pada 500 RPM dihasilkan oleh *Propeller B-7 Series* Model 6 ($29,7^{\circ}$ & $0,70$) dengan nilai 77499,5 Pa.
5. Perbandingan Model Turbulensi didapatkan hasil bahwa *Propeller B-8 Series* Model 3 ($27,7^{\circ}$ & $0,70$) 500 RPM memiliki turbulensi terkecil dengan kecepatan rata-rata 18,33 m/s dikarenakan memiliki garis turbulensi paling teratur.

V. Penutup

5.1 Kesimpulan

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

1. Setelah dilakukan analisa model *propeller B-7 Series* dengan variasi *skew angle* ($27,7^{\circ}$, $29,7^{\circ}$ & $31,7^{\circ}$) dan *Blade Rea Ratio* (0.55, 0.59 dan 0.70) serta penambahan *Kort Nozzle* didapatkan hasil bahwa, apabila semakin besar nilai

Blade Rea Ratio (Ae/Ao) maka nilai gaya dorong (*thrust*) akan semakin besar dan sebaliknya. Untuk *skew angle*, apabila sudut *skew angle* semakin besar maka nilai *thrust* akan semakin kecil dan sebaliknya

2. 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 *thrust* paling besar senilai 21,68 kN pada Model 3 ($27,7^{\circ}$ & 0,70), untuk nilai *pressure* terendah senilai 66,34 kPa pada Model 2 ($27,7^{\circ}$ & 0,59), untuk nilai *effisiensi* paling tinggi senilai 0,868 pada Model 3 ($27,7^{\circ}$ & 0,70), sedangkan aliran turbulensi terendah yaitu 15,65 m/s pada model 5 ($29,7^{\circ}$ & 0,59). Pada RPM 450 didapat hasil *thrust* paling besar senilai 26,67 kN pada Model 3 ($27,7^{\circ}$ & 0,70), untuk nilai *pressure* terendah senilai 72,35 kPa pada Model 6 ($29,7^{\circ}$ & 0,70), untuk nilai *effisiensi* paling tinggi senilai 0,767 pada Model 3 ($27,7^{\circ}$ & 0,70), sedangkan aliran turbulensi terendah yaitu 17,10 m/s pada model 5 ($29,7^{\circ}$ & 0,59). Pada RPM 500 didapat hasil *thrust* paling besar senilai 32,82 kN pada Model 3 ($27,7^{\circ}$ & 0,70), untuk nilai *pressure* terendah senilai 77,50 kPa pada Model 6 ($29,7^{\circ}$ & 0,70), untuk nilai *effisiensi* paling tinggi senilai 0,700 pada Model 3 ($27,7^{\circ}$ & 0,70), sedangkan aliran turbulensi terendah yaitu 18,33 m/s pada model 3 ($27,7^{\circ}$ & 0,70).
3. 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* $27,7^{\circ}$ dan *blade area ratio* 0,70 atau pada Model 3 dengan nilai *thrust* sebesar 21,66 KN, rata-rata tekanan 66,58 kPa, dan aliran turbulen dengan kecepatan rata - rata

15,51 m/s serta nilai *effisiensi* sebesar 0,868.

5.2 Saran

Penelitian yang disusun penulis ini masih memiliki keterbatasan dan kekurangan. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan tugas akhir ini dapat dikembangkan lagi secara mendalam dengan kajian yang lebih lengkap.

Adapun saran penulis untuk penelitian lebih lanjut (*future research*) antara lain :

1. Perlunya dilakukan kajian lebih mendalam lagi untuk model baling – baling dengan berbagai macam variasi baling – baling pada kapal selam sehingga didapatkan model optimum sesuai kebutuhan kapal selam.
2. Diperlukan komputasi yang tinggi dalam analisa CFD.

Penelitian masih dapat dikembangkan lagi lebih lanjut dengan meninjau berbagai macam aspek pada sistem propulsi kapal selam

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.