



Perancangan Propeler Kapal Selam Komersial Tipe B series X-80 Dengan Variasi Sudut *Skew* dan Jumlah Daun Untuk Mengoptimalkan Nilai *Thrust*

Fadli Nuriman¹⁾, Ahmad Fauzan Zakki²⁾, Hartono Yudo³⁾

¹⁾Laboratorium Perancangan Kapal Dibantu Komputer

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*)}e-mail: fadlinurimaan12@gmail.com, ahmadfzakki@gmail.com, hartono.yudo@yahoo.com

Abstrak

Kapal selam memerlukan kecepatan tinggi ketika beroperasi. Oleh karena itu membutuhkan *thrust* yang besar agar menghemat penggunaan bahan bakar. Polymer Electrolyte Membrane (PEM) sebagai bahan bakar kapal selam memiliki nilai beli yang sangat mahal dibandingkan dengan bahan bakar lainnya . Karena itu perlu dirancang propeler kapal yang efisien dengan nilai *thrust* paling besar agar menghemat biaya operasional kapal selam. Kapal selam komersial ini dirancang untuk kegiatan eksploitasi bawah laut dan eksploitasi minyak lepas pantai. Penelitian propeler kapal selam ini menggunakan propeler tipe B-series X-80 memiliki variasi jumlah daun terdiri dari 7, 9 dan 11 bilah serta sudut *skew* yaitu 10° , 15° dan 20° untuk mendapatkan nilai gaya *thrust* paling besar. Propeler kapal selam akan disimulasikan dengan badan kapal untuk melihat hasil dari nilai *thrust* yang didapat menggunakan Computational Fluid Dynamic untuk kondisi kapal selam fully-submerged memiliki kecepatan propeler kapal sebesar 70 RPM dan kecepatan aliran masuk air sebesar 4,218 m/s secara steady state. Hasil didapat dari penelitian bahwa nilai *thrust* dan torque tertinggi terdapat pada propeler B780-10 dengan nilai 68.22 kN untuk *thrust* dan 56.43 kNm untuk nilai torque. Untuk nilai efisiensi tertinggi terdapat pada propeler B780-10 sebesar 65.60%.

Kata Kunci : Propeler, B series X-80, *Thrust*, Computational Fluid Dynamic, Kapal selam

1. PENDAHULUAN

Kapal selam adalah salah satu moda transportasi laut yang sangat dibutuhkan bagi suatu negara. Adapun kegunaan kapal selam sendiri adalah pada sektor militer maupun non-militer [1]. Kapal selam juga mempunyai 2 mode ketika sedang berlayar yaitu mode penyelaman dan saat dipermukaan. Untuk mode saat penyelaman kapal selam memerlukan daya dorong yang tinggi untuk beroperasi [2].

Sebagai alat transportasi yang diperlukan maka penelitian kali ini mempertimbangkan beberapa aspek antara lain; aspek penghematan bahan bakar, dan aspek kecepatan saat beroperasi.

Karena itu untuk memenuhi aspek transportasi, ada komponen yang sangat penting dari sebuah kapal selam yaitu propeler kapal selam.

Propeler kapal selam adalah sebuah komponen yang mampu menghasilkan daya dorong untuk kapal itu sendiri [3].

Banyak peneliti yang sudah melakukan beberapa riset tentang daya dorong dari sebuah propeler kapal. Salah satunya adalah riset tentang perbandingan tipe B-series dengan Kaplan series, penelitian tersebut menyimpulkan bahwa daya dorong propeler tertinggi didapat pada RPM 500[4]. Penelitian lain tentang B-series ada yang menyimpulkan propeler dengan variasi rps 1.8, 2.1, 2.4 dan 3. Bahwa propeler dengan rps 3 mempunyai nilai efisiensi terendah dengan nilai 0.471 kN [5].

Variasi *skew* terhadap propeler telah banyak dilakukan penelitian salah satunya telah dilakukan oleh[6] yang menyimpulkan bahwa sudut *skew* pada propeler dapat mempengaruhi tekanan dan

pembebanan saat memecahkan aliran fluida , sehingga saat ingin membuat permodelan propeler kapal jika ingin mengurani tekanan maka nilai sudut skew dapat di tingkatkan .

Pengaruh sudut *skew* bukan hanya berdampak terhadap nilai *thrust* namun juga berdampak terhadap gaya getaran yang dihasilkan propeler kapal, yang mana ketika meningkatkan nilai sudut *skew* maka efek yang ditimbulkan adalah fluktuatif terhadap getaran propeler kapal tersebut[7]

Penelitian lainya yang menyebutkan bahwa pengaruh sudut *skew* terhadap gaya dorong dan torsi dimana semakin besar nilai dari *skew* maka gaya dorong dan torsi dari propeler kapal akan semakin kecil [11].

Pada penelitian ini yang membedakan dengan penelitian lainya ialah simulasi yang digunakan yaitu propeler B-series X-80 yang memiliki variasi jumlah daun yaitu; 7, 9, 11 bilah serta sudut 10°, 15°, 20° dengan lambung kapal untuk melihat efek yang ditimbulkan terhadap nilai daya dorong dari propeler tersebut.

Penelitian ini berfokus pada hasil dari daya dorong propeler yang terbesar dengan variasi jumlah daun propeler dan sudut *skew* yang telah di desain. Untuk lambung kapal selam sendiri diambil dari penelitian sebelumnya yang mana menghasilkan hambatan sebesar 40.7 KN dengan kecepatan Vs sebesar 4.218 m/s [3].

Kapal selam dikelompokkan menjadi 4 jenis berdasarkan ukuranya yaitu :

- a. *Large Submarine* yaitu kapal selam dengan bobot lebih dari 2000 ton pada saat kondisi kapal sedang dibawah air (*Submerged*).
- b. *Medium Submarine* yaitu kapal selam dengan bobot kurang lebih dari 600 sampai 2000 ton saat kondisi kapal sedang dibawah air.
- c. *Midget Submarine* yaitu kapal selam dengan bobot dibawah 150 ton [8].

Pada penelitian kali ini kapal selam yang dipakai adalah tipe *midget submarine*. Namun *midget submarine* dibagi menjadi 2 kelompok :

- a. *Military Midget Submarine* yaitu kapal selam cebol untuk kegiatan militer dengan dilengkapi persenjataan torpedo dan ranjau.
- b. *Civilian Midget Submarine* yaitu kapal selam yang digunakan untuk kegiatan komersial atau sipil, yang berfungsi untuk pemeliharaan bawah air, eksplorasi, arkeologi dan penelitian ilmiah.

Maka dapat dikatakan tipe kapal selam yang diambil untuk disimulasikan adalah tipe kapal selam *midget submarine* dengan kategori kapal selam komersial.

Propeler B-series atau bisa dikenal dengan Wageningen B-series adalah propeler kapal yang sering digunakan untuk kapal berjenis *merchant ship*. Dengan bentuk yang sederhana dan mempunyai karakteristik yang bekerja dengan maksimal [9].

Sebagai suatu landasan yang digunakan dalam simulasi komputasi, ada beberapa persamaan yang digunakan antarlain; persamaan kontinuitas persamaan momentum dan turbulence model (*k-epsilon*). Persamaan itu akan menyelesaikan tiap kondisi untuk simulasi yang dijalankan untuk mendapatkan gambaran lengkap penampakan aliran yang dinamis. Berikut akan dijelaskan tentang persamaan untuk menyelesaikan control volume dalam simulasi.

a. Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas adalah bentuk untuk mengaplikasikan persamaan Navier-Stokes dengan menggunakan *Finite Volume Method*, volume ini dibatasi oleh boundary yang dianggap konstan ketika proses simulasi aliran dinamis. Kontinuitas memiliki satuan masa (kekekalan). Berdasarkan Equation 1 dimana ρ yaitu massa jenis, U adalah *Velocity vector* dan t adalah waktu [10].

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U) \quad (1)$$

b. Persamaan Momentum

Pada persamaan ini memakai Hukum Newton 2 yang mana digunakan dalam pengaplikasian pada metode volume hingga untuk model aliran dinamis. Dimana ketika aliran bergerak, gaya pada elemen akan mengikuti dengan massa dikali dengan akselerasi dari elemen itu sendiri, akan dijelaskan Equation 2.

$$\frac{\partial(\rho U)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U \times U) = -\nabla p + \nabla \tau + S_m \quad (2)$$

c. Turbulence Model (*k-epsilon*)

Two-equation adalah model yang telah digunakan banyak penelitian dikarenakan memiliki hasil nilai numerik yang lebih akurat dan lebih moderen. Dimana terdapat skala kecepatan dan panjang diselesaikan dengan persamaan yang dipisah, untuk k adalah turbulence kinetic energy berfungsi untuk varian dari fluktuasi kecepatan. Equation memiliki dimensi L^3/T^3 , ϵ merupakan disipasi turbulence eddy yang memiliki dimensi L^2/T^3 [10].

$$\frac{\partial(\rho k) + \partial(\rho U_j \varepsilon)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{\varepsilon}{k} \quad (3)$$

2. METODE

Penelitian kali ini mengkaji tentang perancangan propeler tipe *B-series X-80* dengan variasi sudut *skew* dan jumlah daun guna melihat dari segi desain propeler terhadap lambung kapal selam untuk mencari nilai daya dorong dari propeler terhadap badan kapal yang optimal. Data kapal selam di dapat dari buku *Concept Design of a Commercial Submarine* [3], untuk data propeler didapatkan dari perhitungan *Troosts* [11]. Variasi yang digunakan pada penelitian ini antarlada jumlah daun yaitu 7, 9, 11 bilah.

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Perencanaan Desain Kapal Dibantu Komputer, Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

Kapal selam dimodelkan secara *rigid body* dan dalam keadaan *fully submerged* dengan mengabaikan interaksi gelombang. Dalam perancangan model kapal selam dan propeler dilakukan dengan menggunakan aplikasi *Rhinoceros 6.0*.

Metode yang dipakai untuk mencari nilai daya dorong dari propeler kapal menggunakan aplikasi *Computational Fluid Dynamic (CFD)* dengan software *ANYS CFX*.

Metode *Computational Fluid Dynamic (CFD)* digunakan untuk menganalisis nilai daya dorong dan torsi dari variasi propeler kapal. Selanjutnya hasil yang didapatkan di validasi kedalam grafik *Wageningen B-series* untuk melihat nilai yang didapat apakah sesuai toleransi yang diperbolehkan.

Metode ini dipilih dikarenakan dapat menyelesaikan permasalahan yang kompleks dari suatu aliran fluida serta dapat menghasilkan nilai yang akurat [12].

Ada beberapa parameter yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain:

- Parameter Tetap

1. Badan kapal selam

Pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya didapat bentuk badan kapal. Ukuran utama kapal akan dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. Ukuran utama kapal selam

No.	Item	Besaran	Satuan
1	<i>Length Overall</i>	71.3	m
2	<i>Maximum Height</i>	12.7	m
3	<i>Outerhull Diameter</i>	9.2	m
4	<i>Velocity</i>	8.2	knots
5	<i>RPM</i>	500	rev
6	<i>Total Resistance</i>	40.7	kN
7	<i>WSA</i>	1910.7	m ²
8	<i>Reynold Number</i>	2.51x10 ⁸	

2. Kondisi Perairan

Kondisi perairan disesuaikan dengan lokasi kapal selam beroperasi. Karakteristik dari perairan ditunjukkan Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Perairan

No	Item	Besaran	Satuan
1	Densiti air laut	1025	kg/m ³
2	Viskositas Kinematis	1.2x10 ⁻⁶	m ² /s
3	Viskositas Dinamis	1.23x10 ³	kg/ms

- Parameter Peubah

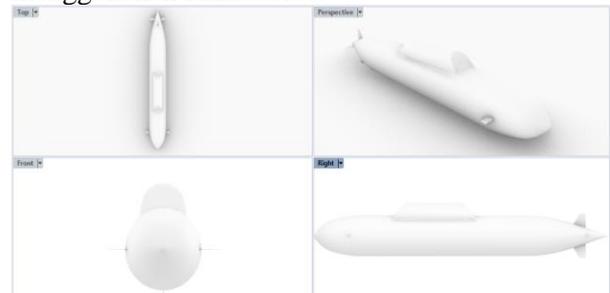
Dalam penelitian kali ini parameter peubah yang dipakai untuk merancang propeler yang digunakan dengan variasi jumlah daun dan variasi sudut *skew* dijelaskan pada Tabel 3

Tabel 3. Variasi model propeler kapal

No	Item	Besaran	Satuan
1	<i>Pitch Length</i>	4	m
2	<i>Blade Area Ratio</i>	0.8	
3	<i>Blade</i>	7,9,11	Unit
4	Diameter	4.1238	m
5	<i>Skew</i>	10,15,20	Derajat

2.1. Permodelan model kapal selam

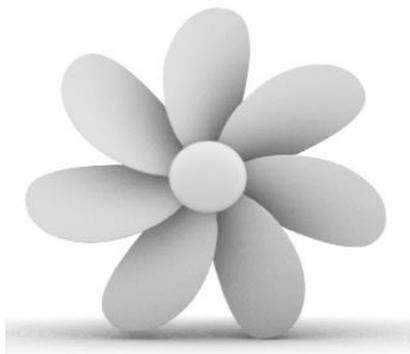
Dengan melihat ukuran utama yang telah dijelaskan pada Tabel 1, langkah selanjutnya adalah membuat 3d model kapal dengan menggunakan *Rhinoceros*.



Gambar 1. Model 3D kapal selam

2.2. Permodelan dari propeler kapal selam

Propeler yang digunakan dalam analisis kali ini adalah tipe B-series. Untuk 3d modeling kapal ditunjukkan oleh Gambar 3 seperti dibawah ini.



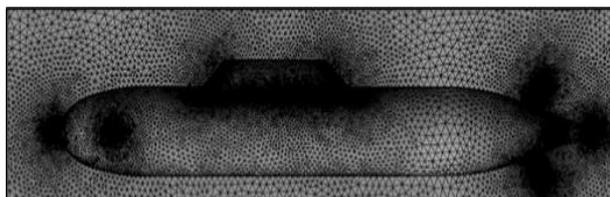
Gambar 2. Propeler kapal B-series 7-80

2.3. Meshing

Tahap ini adalah saat dimana memecah bagian yang akan dianalisis menjadi beberapa elemen-elemen. Dari pemecahan elemen tersebut akan memberikan dampak bagi perhitungan yang akan dicari.. Untuk bagian propeler diberikan ukuran yang lebih kecil dibandingkan ukuran lambung kapal. Tabel 3 akan menunjukkan parameter agar tercapainya hasil yang maksimal. Hasil akan disajikan dalam bentuk gambar 3.

Tabel 3. Parameter Meshing

No	Parameter	Criteria
1	Type Mesh	Unstructured
2	Element Shape	Tetrahedrons
3	Sizing	Fine
4	Sizing Function	Curvature
4	Target	0.4
	Sjewnness	
5	Smoothing	high
6	Sizing on	42 mm
7	Rotating Domain	500 RPM



Gambar 3. Hasil meshing lambung kapal dan propeler

2.4. Sifat dari material

Pada tahap ini sifat material mengikuti penelitian sebelumnya. Dengan itu maka data yang didapat akan disajikan pada Tabel 2.

2.5. Karakteristik dari propeler kapal

Propeler kapal mempunyai sifat hidrodinamik masing-masing. Dalam penelitian kali ini akan memakai propeler dengan tipe B-series X-80, yang mana X menunjukkan variasi dari propeler dan 80 sendiri adalah AE/AO. Merujuk pada penelitian sebelumnya maka perhitungan dipakai mengikuti persamaan 5, 6, 7 dan 8 [13].

$$Kt = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \quad (5)$$

$$Kq = \frac{Q}{\rho \cdot n^2 D^5} \quad (6)$$

$$J = \frac{V_a}{nD} \quad (7)$$

$$\eta_0 = \left(\frac{Kt}{Kq} \right) * (J/2\pi) \quad (8)$$

Kt = Koefisien Gaya dorong

Kq = Koefisien Torsi

T = Gaya dorong (N)

Q = Torsi (Nm)

ρ = Densitas air (kg/m³)

D = Diameter propeller (m)

n = Angular Velocity (rev/s)

V_a = Velocity advance (m/s)

2.6. Pengaturan

Validasi dengan cara mensimulasikan propeler kapal dengan lambung kapal menggunakan CFD yang diambil dari penelitian sebelumnya yaitu dibuat 2 batas yang dominan yaitu dominan aliran dan dominan propeler. Simulasi pada penelitian ini menggunakan aliran stabil.

2.6.1. Fluid Domain

Fluid Domain ini menggunakan pengaturan berdasarkan standar ITTC dalam simulasinya. Dominan ini memiliki ukuran yang akan dijabarkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengaturan Domain aliran

No	Jarak dari Lambung ke	Jarak	Besaran
1	Boundary-Sisi	1Lpp	71.3 m
2	Boundary -Inlet	1Lpp	71.3 m
3	Boundary-Outlet	3Lpp	204.9 m

Bedasarkan tabel 4, maka dapat dilakukan langkah selanjutnya yaitu dengan mengatur dominan aliran dengan parameter yang akan disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Pengaturan Domain Fluida

No	Domain Setting	Option
1	Type	Fluid
2	Material	Water
3	Morphology	Continuous Fluid
4	Bouyancy model	Non-Bouyant
5	Domain Motion	Stationary
6	Reference Pressure	1 atm
7	Turbulence Model	k-epsilon
8	Turbulent wall function	scalable

Dari tabel 4, dapat dijelaskan bahawa terdapat 3 batasan yaitu *boundary inlet*, *outlet*, *wall*.

a. Boundary – Inlet

Boundary- inlet yang dimaksud adalah Batasan air masuk. Pada Tabel 6 akan dijeaskan mengenai pengaturan untuk *boundary* ini

Tabel 6. Pengaturan *Boundary Inlet*

No	Boundary Setting	Option
1	Type	Velocity-Inlet
2	Flow Regime	Subsonic
3	Velocity	4.218 m/s
4	Mass and Momentum	Normal speed
5	Turbulence	Medium Intensity

b. Boundary – Outlet

Boundary-Outlet yang dimaksud adalah Batasan air keluar. Pada Tabel 7 akan menjelaskan tentang pengaturan yang dipakai untuk *boundary* ini.

Tabel 7. Pengaturan *Boundary Outlet*

No	Boundary Setting	Option
1	Type	Pressure-Outlet
2	Flow Regime	Subsonic
3	Relative Pressure	0 Pa

c. Boundary- Sisi

Boundary-Sisi yang dimaksud adalah Opening agar tidak ada yang gesekan yang terjadi dengan *boundary* itu sendiri. Pada Tabel 8 menerangkan tentang pengaturan yang digunakan untuk *boundary-sisi*.

Tabel 8. Pengaturan *Boundary Sisi*

No	Boundary Setting	Option
1	Type	Opening
2	Flow Regime	Subsonic
3	Relative Pressure	0 Pa

d. Boundary - Hull

Boundary- Hull yang dimaksud adalah Dinding yang akan bergesekan dengan datangnya aliran air . Pada Tabel 9 akan dijelaskan mengenai pengaturan untuk *boundary* ini.

Tabel 9. *Boundary Setting*

No	Boundary Setting	Option
1	Type	Wall
2	Wall-Option	No-slip Wall
3	Roughness	Smooth wall

e. Boundary-Interface

Boundary-Interface yang dimaksud adalah Dinding yang akan bergesekan dengan datangnya aliran air . Pada Tabel 10 akan menerangkan bagaimana pengaturan untuk *boundary-interface* pada saat simulasi.

Tabel 10. Pengaturan *Boundary Interface*

No	Boundary Setting	Option
1	Type	Fluid-Fluid
2	Interface Option	General
	Frame change	Connection
3	Option	Frozen Rotor
4	Pitch Angle	360

f. Boundary-Propeler wall

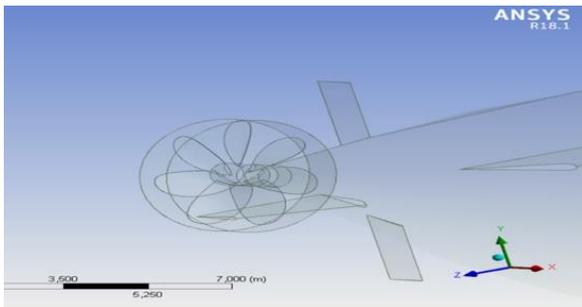
Boundary-Propeller wall yaitu kondisi batas pada bilah propeler yang di definisikan sebagai *rotating wall*. *Boundary* ini memiliki *roughness* dan bersifat *noslip*. Tabel 11 merupakan penjelasan *boundary* ini pada simulasi.

Tabel 11. *Boundary Setting*

No	Boundary Setting	Option
1	Type	Wall
2	Frame Type	Rotating
3	Mass and Momentum	No-slip wall
4	Wall Roughness	Smooth wall

2.6.2. Domain Propeler

Melihat dari penelitian sebelumnya yang telah dilakukan, domain propeler berbentuk tabung dengan jarak 0,001 m dari propeler. Jarak ini diusahakan sekecil mungkin agar domain yang diberikan dapat menerima kecepatan yang sesuai dari putaran propeler kapal dan searah jarum jam. Gambar 4 akan menerangkan dari pembahasan diatas.



Gambar 4. Rotating domain

Domain rotating pada propeler seperti diatas akan diatur dengan melihat Tabel 12.

Tabel 12. Domain Setting

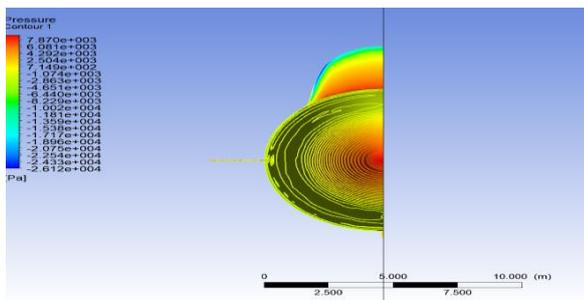
No	Domain Setting	Option
1	Type	Fluid
2	Material	Water
3	Morphology	Continuous
4	Bouyancy model	Fluid
5	Domain Motion	Non Bouyant
6	Angular Velocity	Rotating
7	Rotation Axis	70 RPM
8	Turbulence Model	Global X
9	Turbulent wall function	k-epsilon scalable

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Ketika tahap simulasi telah selesai maka langkah selanjutnya adalah memvalidasi badan kapal untuk melihat apakah model yang dipakai valid untuk digunakan untuk peneltian ini.

3.1. Validasi Lambung Kapal

Badan kapal selam yang dipakai sudah diteliti sebelumnya dari segi hambatan. Nilai hambatan yang didapatkan melalui proses numerik pada CFD. Maka hasil yang didapatkan dari penelitian sebelumnya akan disajikan pada gambar 5.



Gambar 5. Contour Pressure

Hasil dari nilai hambatan yang didapatkan menunjukkan perhitungan yang logis. Dimana

badan kapal mendapatkan titik stagnasi yang mengalami tekanan yang paling tinggi, itu menunjukkan bahwa sejalan dengan Hukum Bernoulli yang dapat diartikan semakin tinggi tekanan maka kecepatan semakin rendah. Ada 2 sumber hambatan yang terjadi pada badan kapal selam yaitu *Form Resistance* dan *Friction Resistance* [3].

$$R_t = R_{form} + R_{friction} \quad (9)$$

Pada Tabel 13 akan menjelaskan hasil yang didapat dari simulasi untuk mendapatkan nilai hambatan total.

Tabel 13. Hasil Perhitungan dan Simulasi R_t

No	R_t Nilai Referensi	R_t Nilai Model
1	40,70 kN	41.79 kN
2	Persentase Error	2.69%

Dari hasil yang didapat terjadi perbedaan hambatan yang didapatkan namun masih dalam batas toleransi yaitu dibawah 5 %. Model badan kapal dianggap valid untuk dilaksanakan percobaan.

3.2. Validasi Proses Simulasi

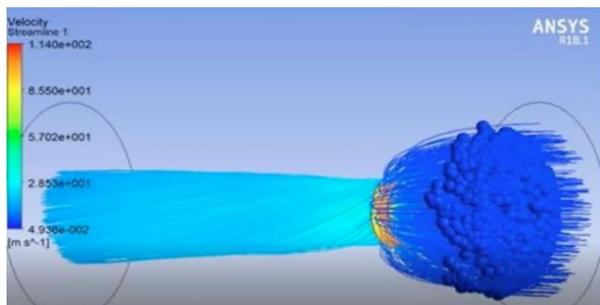
Penelitian kali ini akan menggunakan *CFD* untuk melakukan proses simulasi. Jika dibandingkan dengan pengujian melalui *Towing Tank* Penggunaan dengan *CFD* ini lebih efisien dari segi biaya dan waktu pengerjaan.

Simulasi validasi dilakukan untuk membutuhkan hasil dengan merujuk pada tabel *Wageningen B-Series*. Pada Tabel 14 akan disajikan dimensi dan kriteria dari model propeler B-series guna melihat validasi untuk proses simulasi.

Tabel 14. Dimensi Propeler

No	Item	Besaran	Satuan
1	Pitch Length	4	m
2	Blade Area Ratio	0.8	
3	Blade	7	Unit
4	Diameter	4.1238	m
5	Angular Velocity	1.167	Rps
6	Velocity	4.128	m/s

Dari pengaturan yang sudah dijelaskan sebelumnya maka simulasi dilakukan dan didapatkan hasil seperti gambar 6 .



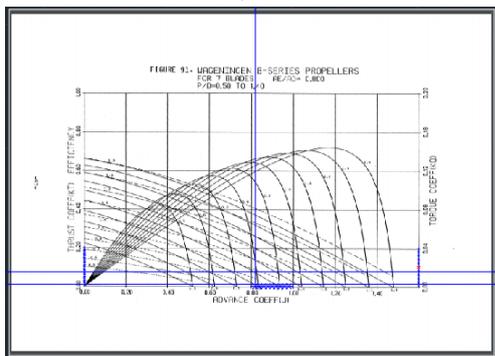
Gambar 6. *Streamline Velocity* aliran pada propeler

Setelah didapatkan simulasi pada propeler kapal maka akan dilakukan perhitungan manual untuk mendapatkan nilai *thrust* [10].

$$J = \frac{va}{nD} \quad (10)$$

Dengan rumus diatas akan dijelaskan mengenai keterangan beberapa komponen antaralain, V_a adalah kecepatan air yang masuk didepan propeler kapal dengan satuan (m/s), n merupakan angular velocity dengan satuan (Rev/s) dan D adalah nilai dari diameter propeler dengan satuan (m)

$$J = \frac{3,937}{1,167 \times 4} = 0.82$$



Gambar 7. Grafik Perhitungan *Thrust* dan *Torque*

Dari grafik diatas maka nilai yang didapat adalah : $K_T = 0.17$ dan $K_Q = 0,034$. Setelah mendapatkan nilai K_T dan K_Q maka selanjutnya menghitung T dengan rumus sebagai berikut :

$$T = \rho n^2 D^4 \quad (11)$$

ρ = Densitas air laut (1.9888 slug/ft³)

$$Q = \rho n^2 D^5 \quad (12)$$

K_t merupakan nilai dari koefisien gaya dorong dan K_q adalah nilai dari koefisien torsi sedangkan ρ adalah densitas airlaut yang dipakai yaitu sebesar (104,48).

Perhitungan gaya dorong yang diperoleh akan dijelaskan pada Tabel 15. Hasil yang diperoleh akan di bandingkan dengan perhitungan empiris.

Tabel 15. Validasi Nilai *Thrust*

Jumlah daun	Nilai <i>thrust</i>	
	Data series (kN)	CFD (N)
7	68.21	69.62

Perhitungan gaya torsi yang diperoleh akan dijelaskan pada Tabel 16. Hasil yang diperoleh akan dibandingkan dengan hasil perhitungan empiris.

Tabel 16. Validasi Nilai *Torque*

Jumlah daun	Nilai <i>torque</i>	
	Data series (kN.m)	CFD (kN.m)
7	55.43	56.43

Hasil menunjukkan bahwa perhitungan dan simulasi terkait kurang dari 5 % maka hasil dari simulasi dinyatakan valid. Simulasi ini dapat diaplikasikan ketika mencari *thrust* dan *torque* pada baling -baling B -series.

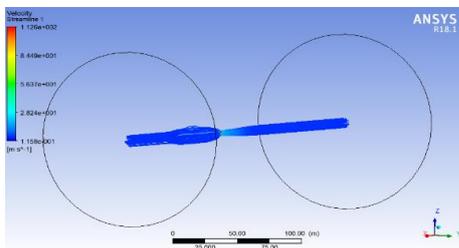
3.3. Hasil dari Nilai *Thrust* dan *Torque* Propeler B – series X-80

Pada tahap penyelesaian simulasi diatas yang telah dilakukan kepada 9 model propeler maka didapatkan hasil *meshing*. Hasil akan dijelaskan dengan Tabel 17 sebagai berikut :

Tabel 17. Hasil jumlah element

No	Propeller	Element
1	B780-10	2027132
2	B780-15	2028737
3	B780-20	2020412
4	B980-10	2122341
5	B980-15	2108752
6	B980-20	2120261
7	B1180-10	2029241
8	B1180-15	2100520
9	B1180-20	2100942

Gambar 8 dibawah ini akan melihat hasil simulasi yang mana propeller dengan badan kapal. Aliran yang dihasilkan dipengaruhi oleh badan kapal tersebut sehingga kecepatan masuk air didepan propeller berbeda dengan kecepatan awal.



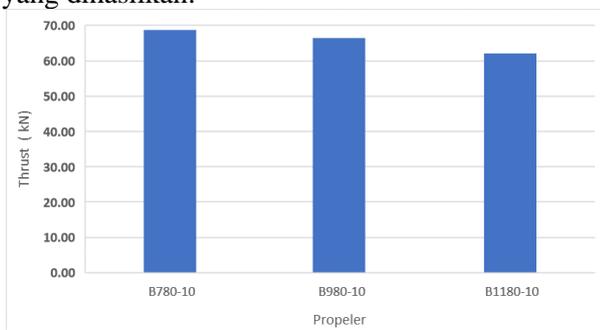
Gambar 8. Velocity Streamline pada simulasi baling-baling dengan badan kapal

Dengan penelitian yang sudah dilakukan melalui proses simulasi maka hasil yang didapatkan yaitu nilai *thrust* dan nilai *torque*. Nilai yang didapat akan dijelaskan pada Tabel 19 untuk nilai *thrust* dan Tabel 20 untuk nilai *torque* dari variasi yang telah ditetapkan.

Tabel 18. Hasil Nilai *thrust force*

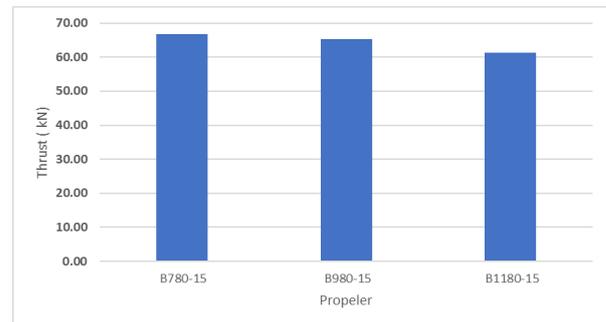
No	Propeller	Force (kN)
1	B780-10	68.91
2	B780-15	66.81
3	B780-20	65.73
4	B980-10	66.45
5	B980-15	65.31
6	B980-20	64.87
7	B1180-10	62.09
8	B1180-15	61.37
9	B1180-20	60.69

Dari Tabel 18 diatas maka semakin tinggi nilai *skew* mempengaruhi turunnya nilai gaya dorong yang dihasilkan.



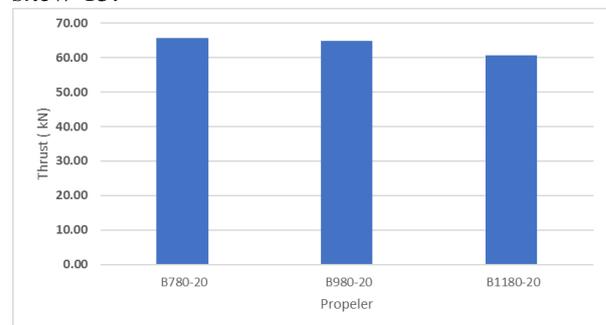
Gambar 9. Grafik gaya dorong dengan sudut *skew* 10

Gambar 9 menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai gaya dorong dari variasi jumlah daun sudut *skew* 10.



Gambar 10. Grafik gaya dorong dengan sudut *skew* 15

Sama dengan sudut *skew* 10, gambar 10 menunjukkan penurunan gaya dorong pada sudut *skew* 15.



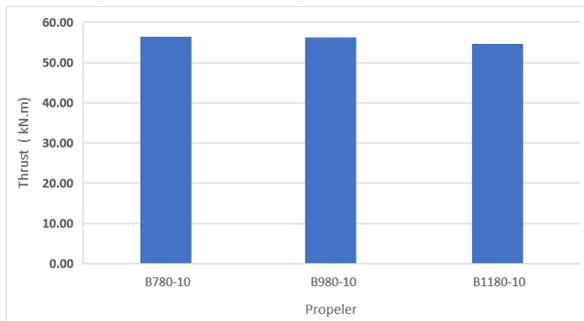
Gambar 11. Grafik gaya dorong dengan sudut *skew* 20.

Pada gambar 11, variasi jumlah daun dengan sudut *skew* 20 juga mengalami penurunan gaya dorong.

Tabel 19. Hasil Nilai *torque*

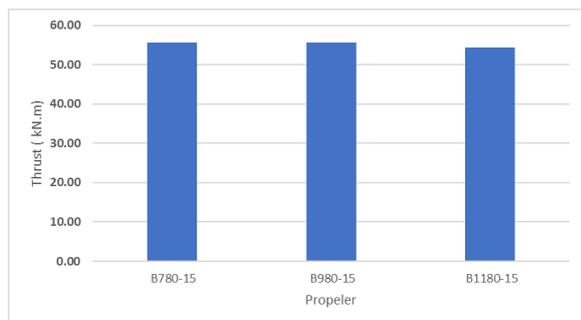
No	Propeller	Torque (kN.m)
1	B780-10	56.43
2	B780-15	55.62
3	B780-20	55.58
4	B980-10	56.40
5	B980-15	55.56
6	B980-20	55.48
7	B1180-10	54.81
8	B1180-15	54.30

Hasil dari Tabel 19 diatas maka semakin tinggi nilai *skew* mempengaruhi mengecilnya nilai torsi yang dihasilkan.



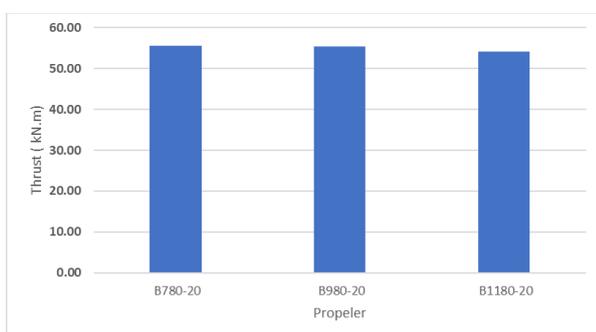
Gambar 12. Grafik nilai torsi dengan sudut *skew* 10

Gambar 12, menjelaskan bahwa nilai torsi pada sudut *skew* 10 mengalami penurunan.



Gambar 13. Grafik nilai torsi dengan sudut *skew* 15

Pada propeler dengan nilai sudut *skew* 15, nilai torsi mengalami penurunan seperti yang ditunjukkan pada gambar 13.



Gambar 14. Grafik nilai torsi dengan sudut *skew* 20

Pada gambar 14 menunjukkan bahwa, nilai torsi pada sudut *skew* 20 mengalami penurunan.

Menurut penelitian yang telah dilakukan sebelumnya bahwa semakin tinggi *skew* maka nilai *thrust* dan *torque* semakin kecil [14]. Dimana sudut

skew berfungsi untuk mengurangi pembebanan hidrolik yang berada ketika propeler tidak stabil saat beroperasi [11].

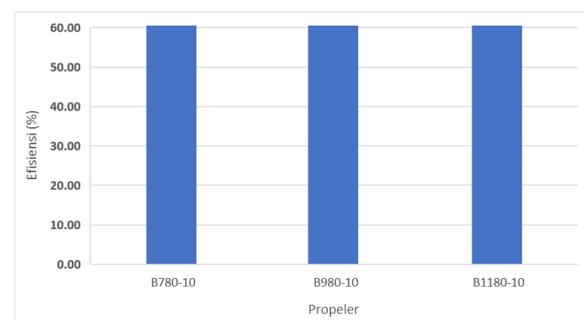
Hasil ditunjukkan pada Tabel 18 yaitu nilai gaya dorong yang tertinggi terdapat pada propeler B780-10 yaitu sebesar 68.22 kN dan nilai terendah terdapat pada propeler B1180-9 dengan nilai 60.69 kN.

Hasil yang diperoleh Tabel 19 yaitu nilai torsi yang terbesar pada propeler B780-10 dengan nilai 55.43 kN.m sedangkan nilai terendah dimiliki oleh propeler B1180-10 dengan nilai 54.10 kN.m

Hasil yang didapat kedua nilai pada Table 18 dan Tabel 19 bahwa terjadi penurunan nilai *thrust* dan nilai *torque* dari tiap jumlah daun propeler.

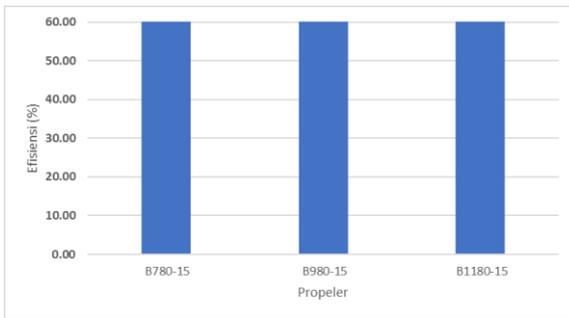
Tabel 20. Hasil Nilai Efisiensi Propeler

No	Propeller	Efisiensi
1	B780-10	65.60 %
2	B780-15	64.50 %
3	B780-20	63.50 %
4	B980-10	63.30 %
5	B980-15	63.10 %
6	B980-20	62.80 %
7	B1180-10	60.90 %
8	B1180-15	60,70 %
9	B1180-20	60,30 %



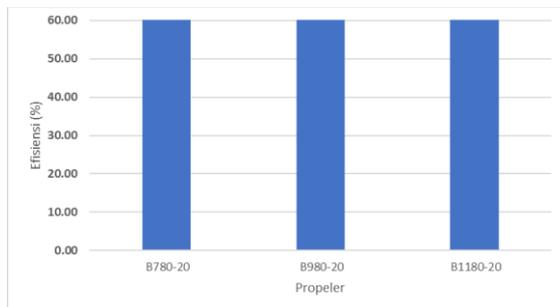
Gambar 15. Grafik nilai efisiensi propeler dengan sudut *skew* 10

Grafik di atas menunjukkan bahwa, nilai efisiensi dari variasi sudut *skew* 10 mengalami penurunan



Gambar 16. Grafik nilai efisiensi propeler dengan sudut *skew* 15

Gambar 16 menunjukkan penurunan efisiensi pada variasi variasi sudut *skew* 15



Gambar 17. Grafik nilai efisiensi propeler dengan sudut *skew* 20

Pada variasi sudut *skew* 17, memperlihatkan hal yang sama, yaitu grafik mengalami penurunan.

Dapat di lihat dari rumus (11) dan rumus (12), nilai efisiensi yang didapat dari propeler kapal merupakan perbandingan antara nilai koefisien thrust (Kt) dibagi dengan koefisien torque (Kq). Oleh karena itu kenaikan nilai torque mempengaruhi berkurangnya nilai efisiensi dari propeler tersebut.

Hal ini serupa dengan penelitian sebelumnya yang mana menyatakan bahwa kenaikan jumlah daun maka nilai efisiensi dari propeler akan menurun dan konsumsi bahan bakar akan meningkat [15].

Hasil pada Tabel 18 dan Tabel 19 diatas maka perhitungan efisiensi harus dilakukan guna melihat tingkat efisiensi propeler tertinggi terhadap lambung kapal.

Perhitungan efisiensi menggunakan rumus sebagai berikut [10] :

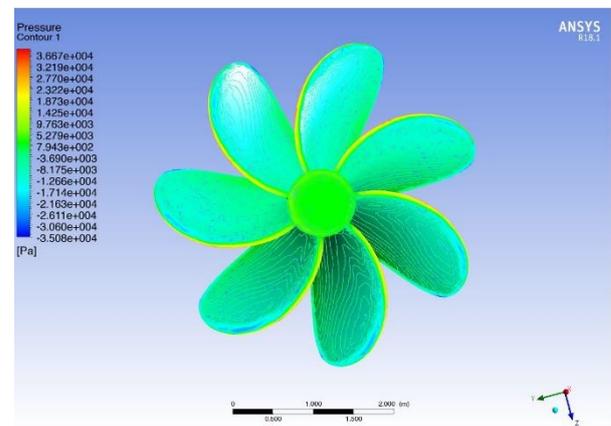
$$\eta_o = \frac{T \cdot Va}{2 \cdot n \cdot \pi \cdot Q} \quad (13)$$

Hasil yang didapat dari perhitungan untuk mengetahui efisiensi tertinggi dari rumus yang telah dijelaskan diatas maka efisiensi tertinggi

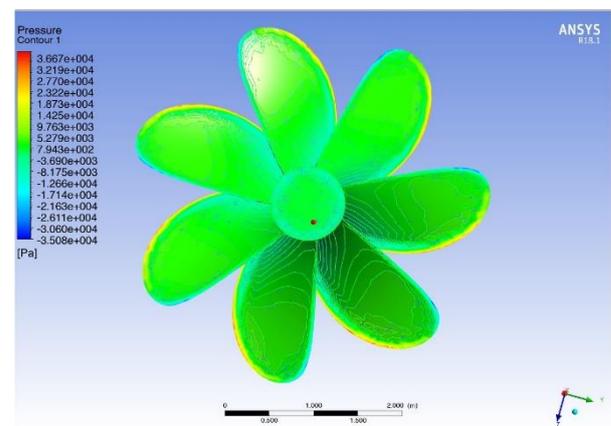
terdapat pada propeler B780-10 dijabarkan sebagai berikut :

$$\eta_o = \frac{(68,22 \times 0,1019) \times 3,937}{2 \times 1,167 \times 3,14 \times 55,43(0,1019)} = 0,656$$

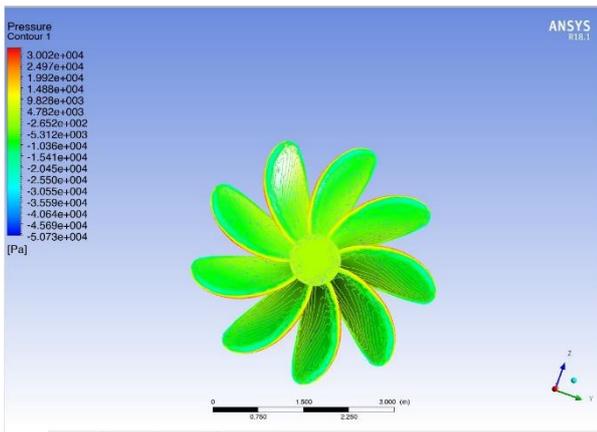
Hasil dari perhitungan efisiensi dari variasi lainnya akan dijelaskan pada Tabel 20. Signifikasi antara variabel propeler akan disajikan pada gambar 15 sampai gambar 17 . Dari tabel 20 bisa disimpulkan bahwa semakin sedikit jumlah daun dari propeler kapal maka efisiensi semakin tinggi. Meninjau hasil dari tabel diatas peneliti menemukan bahwa nilai sudut *skew* mempengaruhi nilai efisiensi dimana semakin tinggi sudut *skew* maka nilai efisiensi akan mengalami penurunan.



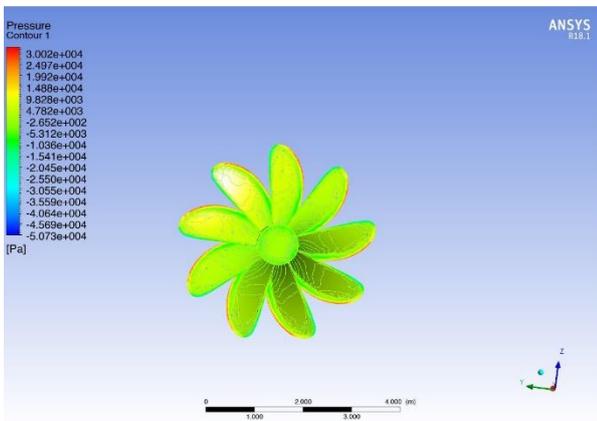
Gambar 18. Countur Pressure Blade 7 *skew* 15 tampak depan



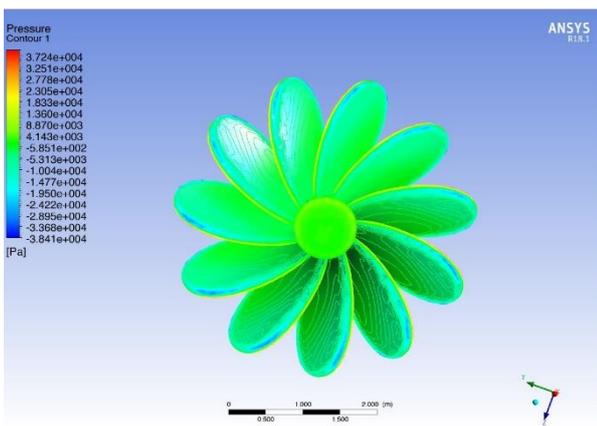
Gambar 19. Countur Pressure Blade 7 *skew* 15 tampak belakang



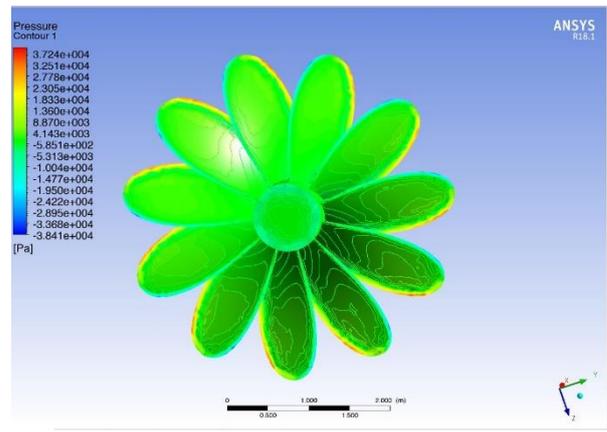
Gambar 20. *Countur Pressure Blade 9 skew 15 tampak depan*



Gambar 21. *Countur Pressure Blade 9 skew 15 tampak belakang*



Gambar 22. *Countur Pressure Blade 11 skew 15 tampak depan*



Gambar 23. *Countur Pressure Blade 11 skew 15 tampak belakang*

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa kenaikan *skew* dengan nilai sudut *skew* dengan nilai 10° , 15° , 20° berpengaruh dengan nilai gaya dorong dan nilai torsi, yang mana semakin tinggi nilai *skew* menghasilkan nilai gaya dorong yang semakin kecil begitu juga dengan nilai torsi pada RPM 70.

Pengaruh jumlah daun dari hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan jumlah daun pada propeler kapal menurunkan nilai thrust dan torsi di RPM 70.

Pengaruh sudut *skew* terhadap efisiensi yang dihasilkan dapat disimpulkan bahwa nilai sudut *skew* 10° , 15° , 20° mempengaruhi nilai efisiensi dimana semakin tinggi sudut *skew* maka nilai efisiensi akan mengalami penurunan.

Pengaruh jumlah daun terhadap efisiensi dapat disimpulkan bahwa pada RPM 70 menunjukkan semakin kecil jumlah daun maka dapat meningkatkan nilai efisiensi dari suatu propeler.

Hasil yang didapatkan bahwa nilai gaya dorong dan torsi terbesar dimiliki propeler B780-10 dengan nilai 68.22 kN dan 56.43 kNm. Untuk nilai efisiensi tertinggi terdapat pada propeler B780-10 dengan nilai efisiensi 65.60% pada RPM 70.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Renilson, *Submarine hydrodynamics*. Springer, 2015.
- [2] V. Bertam, "Submarine Hull Design." Norwegian University of Science and Technology, 2011.
- [3] H. Carlberg, "Concept design of a commercial submarine," Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Engineering Science and

- Technology, 2011.
- [4] P. B. Setyabudi, D. Chrismianto, and G. Rindo, "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," *Kapal*, vol. 13, no. 3, p. 109, 2016, doi: 10.14710/kpl.v13i3.12352.
- [5] M. Z. A. Abidin, M. Z. A. Z. Abidin, and S. W. Adji, "Analisa Performance Propeller B-Series dengan Pendekatan Structure dan Unstructure Meshing," *J. Tek. ITS*, vol. 1, no. 1, pp. G241–G246, 2012, doi: 10.12962/j23373539.v1i1.1925.
- [6] A. Trimulyono, P. Manik, and N. Huda, "Pengaruh Penggunaan Energy Saving Device Pada Propeller B4 55 Dengan Metode Cfd," *Kapal*, vol. 10, no. 3, pp. 147–153, 2013, doi: 10.12777/kpl.10.3.147-153.
- [7] M. A. Mossad and W. Yehia, "Skewed propeller design for minimum induced vibrations," *Ist Int. Symp. Nav. Archit. Marit.*, no. March 2017, pp. 24–25, 2011.
- [8] A. Kurniasari, "Analisis Ergonomi Pada Kapal Selam Mini," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [9] M. M. Barnitsas, D. Ray, and P. Kinley, "KT, KQ and efficiency curves for the wageningen b-series propellers," 1981.
- [10] I. Ansys, "ANSYS advanced analysis techniques guide," *Ansys Help*, 2007.
- [11] C. W. Dekanski, "Design and analysis of propeller blade geometry using the PDE method," University of Leeds, 1993.
- [12] I. ICHWANSYAH, "Analisa Peningkatan Thrust Akibat Penerapan Energy Saving Device pada Kapal Perintis 500 DWT Menggunakan Metode CFD (COMPUTATION FLUID DYNAMIC)," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 7, no. 3, 2019.
- [13] J. Carlton, *Marine propellers and propulsion*. Butterworth-Heinemann, 2018.
- [14] M. Pelaksana and R. Huda, "Analisa pengaruh skew angle terhadap performa propeller dengan pendekatan cfd," no. 4206100064, 1997.
- [15] K. B. Yeo, R. Sabatly, W. Y. Hau, and C. M. Ong, "Effects of Marine Propeller Performance and Parameters Using CFD Method," *J. Appl. Sci.*, vol. 14, no. 22, pp. 3083–3088, 2014.