



ISSN 2338-0322

# JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

## Analisa Pengaruh Profil Rudder Terhadap Kemampuan Manuver Saildrone

Ashoka Wira Parama Arta<sup>1)\*</sup>, Deddy Chrismianto<sup>1)</sup> Andi Trimulyono<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Laboratorium Perancangan Kapal dibantu Komputer

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

<sup>\*)</sup>e-mail : [ashokawira@gmail.com](mailto:ashokawira@gmail.com).

### Abstrak

Peningkatan kemampuan manuver pada kapal penelitian tanpa awak diperlukan untuk memberikan data yang akurat dikarenakan kebutuhan kapal untuk dapat mengikuti jalur ekspedisi yang telah ditetapkan. Penelitian terdahulu mengenai manuver dan rudder menemukan bahwa rudder memberikan dampak yang besar terhadap kemampuan manuver kapal. Kemampuan manuver dinilai dengan parameter kemampuan saildrone dalam melakukan surging, swaying dan yawing. Penggunaan rumus empiris tidak dapat memperhitungkan perbedaan sectional shape pada rudder, sedangkan melakukan eksperimen memakan banyak biaya. Oleh karena itu, digunakan metode CFD dengan turbulence model Reynold Averaged Navier Stokes (RANS) yang dapat memberikan hasil lebih akurat dengan biaya dan beban komputasi yang lebih rendah. Analisis dilakukan terhadap saildrone dengan variasi empat profil yang dikembangkan khusus untuk rudder kapal yaitu fishtail, wedge tail, IFS, dan HSVA. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan profil rudder terbaik untuk saildrone. Profil tersebut dibuat dengan luas lateral yang sama agar hasil analisis dapat berfokus pada pengaruh bentuk rudder terhadap kemampuan manuver saildrone. Hasil analisis menemukan bahwa saildrone yang menggunakan profil wedgetail memiliki kemampuan manuver paling baik dibandingkan dengan profil lainnya.

Kata Kunci : Profil Rudder, Saildrone, Manuver, CFD, RANS

## 1. PENDAHULUAN

Kapal penelitian tanpa awak mulai mengambil alih tugas kapal penelitian berawak untuk memberikan efisiensi dan efektivitas lebih dalam mengumpulkan data. Daerah dengan luas perairan yang besar seperti Indonesia mempunyai potensi besar yang dapat menunjang pengembangan negara apabila pihak pengelola memahami fenomena dan potensi perairannya. Masalah yang dialami di Indonesia, adalah waktu layar yang terlalu pendek. Saildrone, kapal tanpa awak bertenaga alternatif, menjadi alternatif kapal penelitian yang ekonomis dan efektif karena dapat bekerja dalam waktu yang lama dan dalam berbagai kondisi perairan. Saildrone memiliki banyak sensor untuk mendapatkan data-data kelautan Indonesia seperti biota laut yang dimiliki.

Kemampuan manuver kapal tanpa awak merupakan kunci untuk mendapatkan data yang optimal pada jalur layar yang telah ditetapkan [1],

Saildrone sebaiknya memiliki manuver yang baik untuk mempertahankan alur ekspedisi sebaik mungkin. Manuver dalam hal ini adalah *yawing*, *surging*, dan *swaying*. Saildrone menggunakan rudder untuk melakukan manuver dan layar memberikan *thrust*. Untuk itu, kunci peningkatan kemampuan manuver Saildrone terletak pada rudder yang digunakan.

Penelitian mengenai rudder telah dilakukan oleh sejumlah peneliti. Peneliti menemukan bahwa profil rudder dapat memberikan pengaruh dalam respons sifat hidrodinamis dan kemampuan manuver [2]. Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode CFD dikarenakan perhitungan manual yang kita miliki hanya mencakup dimensi geometri umumnya saja seperti rumus  $F_N$  (Normal Force) yang dipublikasi oleh Yasukawa [3]:

$$F_N = 0.5 \rho A R^2 C_N \quad (1)$$

dimana  $\rho$  adalah masa jenis,  $A_R$  adalah luas permukaan *rudder* dan  $C_N$  adalah koefisien gaya normal. Luas *rudder* di sini tidak mewakili bentuk yang beraneka ragam. *Sectional shape* yang dimiliki *rudder* akan memengaruhi distribusi *fluid velocity*. Distribusi *fluid velocity* dapat menyebabkan perbedaan *coefficient lift* dan *drag*[4]. Oleh karena itu, pengaruh bentuk geometri *rudder* tidak dapat diabaikan.

Penelitian sebelumnya menemukan beberapa model, di luar *NACA*, yang dinilai memberikan keuntungan pada kemampuan manuver kapal. Diantaranya *fishtail*, *wedge tail*, *IFS*, dan *HSVA* [5]. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Jia Lun Liu, dengan melakukan simulasi *rudder* (untuk profil *NACA*, *Wedge Tail*, dan *IFS*) tanpa *hull* dengan kecepatan 6,0289 m/s, ditemukan bahwa *wedge tail* memiliki *coefficient lift (CL)* yang paling besar dan *NACA* memiliki rasio *CL/CD* yang paling besar. Namun pada penelitian lain yang membandingkan profil *fishtail*, *HSVA*, *IFS*, dan *NACA*, menemukan bahwa profil *fishtail* memiliki *CL* yang paling besar [6].

Penelitian ini bertujuan untuk menemukan:

- 1) profil *rudder* mana yang memberikan *CL* paling besar?
- 2) bagaimana hubungan antara *CL* dan *CD* dengan kemampuan manuver?
- 3) profil mana yang menghasilkan nilai *second stage turning circle* terkecil?

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Objek Penelitian

Penelitian dilakukan pada *hull saildrone* dengan variasi *rudder* yang digunakan oleh *saildrone*. Model *saildrone* yang digunakan merupakan model asli dengan skala 1:1. *Saildrone* belum melakukan uji *towing tank*. *Saildrone* merupakan kapal tanpa awak bertenaga surya yang ditugaskan untuk memonitor serta mengumpulkan data jarak jauh secara otonom [7]. Model *saildrone* yang digunakan ditampilkan pada Gambar 1. *Saildrone* dan *rudder* yang digunakan dalam penelitian ini memiliki ukuran utama:

- *Length Waterline (LWL)* : 4,20 m
- *Breadth (B)* : 0,80 m
- *Draught (T)* : 1,00 m
- *Span (B<sub>R</sub>)* : 0,39 m
- *Chord length (C)* : 0,18 m



Gambar 1. Model *saildrone* tanpa layar

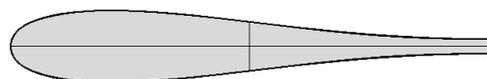
Data mengenai *saildrone* didapatkan dari penelitian terdahulu yang membahas tentang perancangan *saildrone*[8]. Model dibuat sesuai dengan ukuran sebenarnya.

#### 2.1.1. Profil *Rudder*

Profil *rudder* atau *profile shape* didefinisikan dari variasi koordinat *y* atas *chord line*[9]. Secara umum profil *rudder* dibagi kedalam beberapa kelompok dengan pertimbangan letak dan nilai ketebalan maksimum. Penelitian menemukan bahwa perbedaan bentuk *rudder* menghasilkan sifat hidrodinamik yang berbeda[10]. Penelitian ini membandingkan profil *rudder IFS*, *HSVA*, *Fishtail*, dan *Wedge tail*.

##### 2.1.1.1. Profil *rudder IFS*

*IFS* dikembangkan oleh *Institute fur Schiffbau* dengan karakteristik *slope coefficient lift* yang lebih tajam, memperlambat *stall*, dan meningkatkan maksimum *coefficient lift* dengan mengoptimalkan distribusi tekanan di sekitar profil. Penelitian menemukan bahwa profil ini memiliki kemampuan manuver yang cukup baik dibandingkan dengan profil *NACA* dan memiliki bentuk yang *sreamline* [11][12]. Gambar 2 memperlihatkan *sectional shape* profil *IFS*.

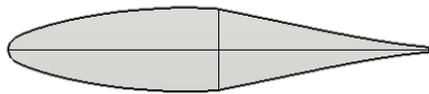


Gambar 2. Tampilan profil *rudder IFS*

##### 2.1.1.2. Profil *rudder HSVA*

Profil *HSVA* merupakan profil *rudder* yang dikembangkan untuk mengurangi hambatan, juga menghasilkan distribusi tekanan yang lebih baik, yang merupakan respon terhadap distribusi tekanan profil *IFS* yang kurang baik, sehingga dapat

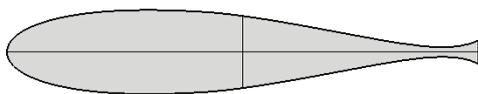
menunda terjadinya kavitasi. profil *HSVA* dikembangkan oleh Hamburg Ship Model Basin (Hamburgische Schiffbau Versuchsanstalt GmbH (*HSVA*), Hamburg, Germany. Gambar 3 memperlihatkan profil *HSVA* yang digunakan dalam simulasi.



Gambar 3. Tampilan profil *rudder HSVA*

### 2.1.1.3. Profil *rudder Fishtail*

Porfil *rudder fishtail* merupakan profil modifikasi dari profil *rudder NACA* yang memindahkan ketebalan maksimum *foil* pada 20% dari panjang *foil* (dimulai dari depan), kemudian melancip sampai 80% bagian, mencekung pada 90% dan sisanya melebar mengikuti ketebalan yang diinginkan. Geometri *fishtail* memberikan efek bertambahnya *lift*, tetapi juga meningkatkan *drag*, dipengaruhi trailing edge dan maximum thickness. *Fishtail* memiliki perbandingan coefficient *lift/drag* yang rendah dibandingkan *wedge tail* [6]. Profil *fishtail* yang memiliki dbentuk dasar *NACA 0018* diperlihatkan pada Gambar 4. Profil *fishtail* merupakan *high lift rudder*. Penelitian menunjukkan *high lift rudder* memberikan kemampuan *force* yang lebih baik dibandingkan *rudder* biasa [13]



Gambar 4. Tampilan profil *rudder Fishtail*

### 2.1.1.4. Profil *rudder Wedge Tail*

Profil *rudder wedge tail* merupakan modifikasi dari profil *rudder NACA*, dimana profil *NACA* tersebut akan diberikan ekor dengan tegas tanpa adanya cekungan sebagaimana *fishtail*. Profil *rudder wedge tail* dikembangkan sebagai respon atas tingginya *drag* yang dimiliki oleh *profil rudder fishtail*. *Wedge tail* biasa digunakan untuk meningkatkan efektivitas *rudder* pada kapal-kapal

dengan kecepatan rendah [2]. Gambar 5 menunjukkan profil *wedge tail* yang dibuat dari profil *NACA 0018*.



Gambar 5. Tampilan profil *rudder wedge tail*

## 2.2. Perlakuan pada objek

Simulasi dilakukan terhadap model *saildrone* pada ukuran asli. Simulasi yang dilakukan terdiri dari simulasi profil *rudder* dan simulasi manuver. Simulasi profil *rudder* dilakukan untuk mengetahui karakteristik hidrodinamis yang dimiliki oleh masing-masing profil. Simulasi dilakukan menggunakan *software CFD* pada kecepatan 1, 2, dan 8 knot. Simulasi profil dilakukan pada 15 sudut *attack of angle*. Simulasi profil dilakukan menggunakan *chord* satu meter mengikuti *chord* yang digunakan dalam proses validasi. Parameter yang digunakan bersifat non dimensional sehingga panjang *chord* tidak akan memengaruhi hasil.

Untuk mendapatkan karakteristik hidrodinamis dari *rudder*, penelitian ini menggunakan metode *RANS (Reynold Average Navier-Stokes)*. Metode ini digunakan karena dapat memberikan hasil yang terbukti akurat dengan beban komputasi yang minim. Metode ini telah banyak digunakan untuk penelitian yang meneliti karakteristik hidrodinamis profil *rudder* dan manuver. Metode ini ditandai dengan penggunaan *turbulence model* pada simulasi, dimana digunakan *turbulence model k- $\omega$  SST* dan *k- $\epsilon$* .

Kemudian dilakukan simulasi manuver menggunakan *software CFD* pada kecepatan rata-rata *saildrone* (2 knot) untuk mengetahui pengaruh profil yang digunakan terhadap pergerakan *saildrone*. Simulasi menggunakan sudut *attack of angle* maksimal yaitu 15 derajat.

Profil *rudder* yang digunakan memiliki luas aksial yang berbeda dikarenakan desain masing-masing profil. Namun hal tersebut tidak menjadi masalah dikarenakan *rudder* yang digunakan dalam simulasi memiliki luas lateral yang sama. Luas lateral digunakan dalam perhitungan coefficient *lift* pada *rudder* tiga dimensi.

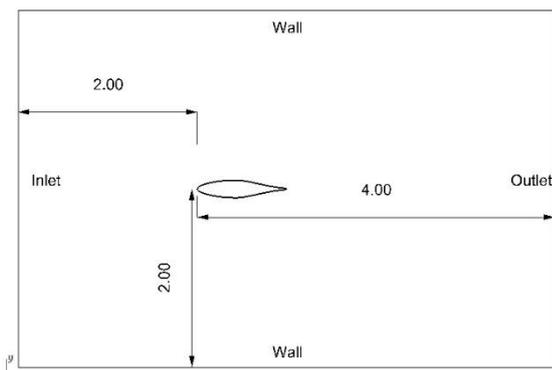
## 2.3. Pengaturan yang digunakan

Pengaturan yang digunakan dalam metode numerik *CFD* merupakan tahap yang penting.

Pengaturan yang dibuat haruslah memperhitungkan dan menyerupai fenomena yang terjadi secara riil. Pengaturan yang berbeda pada *CFD* dapat menghasilkan *output* dengan selisih yang besar.

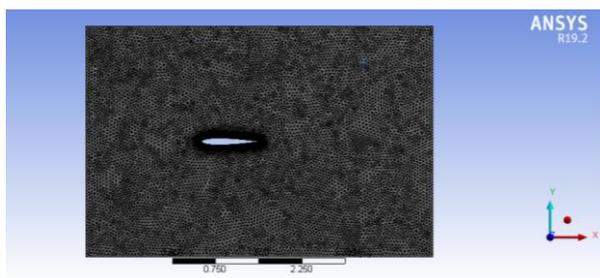
### 2.3.1. Pengaturan pada simulasi hidrodinamis profil

*Domain* dan *boundary* yang digunakan pada simulasi hidrodinamis profil mengikuti regulasi yang diberikan oleh *ITTC* mengenai geometri. Aturan tersebut mencakup jarak antara *boundary* dan model yang digunakan. *ITTC* mengatur jarak antara *boundary inlet* dan model sejauh 1-2 L, jarak *boundary outlet* dan model sejauh 3-5 L, dan jarak antara *boundary wall* atau *symmetry* yang berada di samping model sejauh 1-2 L. Analisis dilakukan dalam bentuk dua dimensi pada kecepatan 1, 2, dan delapan knot. Oleh karena itu, dengan *chord* satu meter, ditetapkan jarak *inlet* dan *wall* dengan model adalah dua meter, dan jarak antara *outlet* dengan model adalah empat meter. *Domain* yang digunakan ditunjukkan oleh Gambar 6.



Gambar 6. *Domain* simulasi profil (unit meter)

*Solver* yang digunakan adalah  $k-\omega$  SST. Nilai  $y^+$  yang digunakan adalah 1 untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat. Oleh karena itu *first layer thickness* yang digunakan dalam simulasi adalah  $5e^5$  dengan *growth rate* 1,2. Gambar 7 menunjukkan tampilan *mesh* yang digunakan setelah melakukan *mesh independent* dengan jumlah elemen 93541.



Gambar 7. Tampilan *mesh* untuk simulasi profil

### 2.3.2. Pengaturan pada simulasi manuver

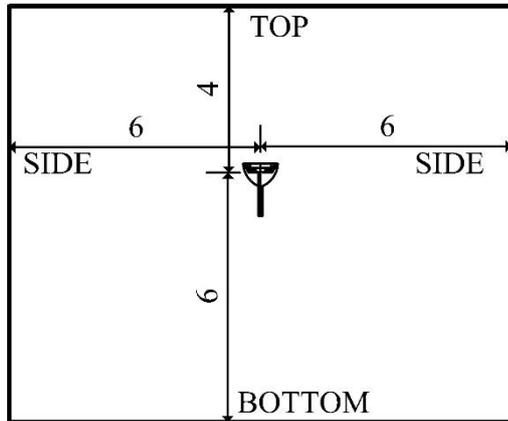
Analisis menggunakan *tool DFBI rotation and translation motion* pada software Star CCM+. *Dynamic Fluid Body Interaction (DFBI)* memodelkan kapal dalam kondisi *floating* di dalam *inner region*, dalam hal ini adalah *overset mesh region*, sehingga memungkinkan kapal untuk bergerak secara bebas berpindah dan berputar pada ketiga sumbu. Star CCM+ melakukan komputasi terhadap bagian *inner region* menggunakan *6-DOF solver*. *DFBI* mencakup perpindahan (*translation*) pada arah x, y, dan z serta putaran (*rotation*) pada sumbu x, y, dan z. Penelitian ini dibatasi dengan melakukan konservasi *motion* pada model dan hanya memperbolehkan pergerakan perpindahan pada sumbu x (*surge*), sumbu y (*sway*), dan perputaran pada sumbu z (*yaw*).

Simulasi *saildrone* menggunakan *second phase of turning circle maneuver*, yaitu saat sudut *rudder* berada pada nilai yang konstan. Sudut *rudder* digunakan mengikuti kemampuan maksimum *rudder* yang dimiliki kapal *by design* yaitu 15 derajat. Kecepatan yang digunakan adalah dua knot.

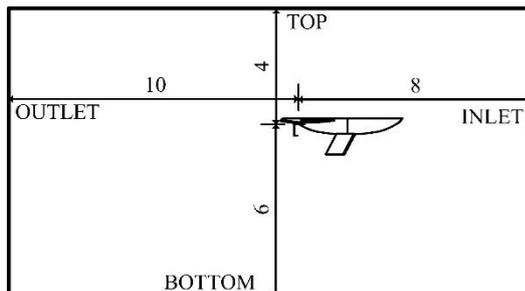
Simulasi dilakukan saat kapal berada pada *second phase maneuver*. Tahap ini biasa dilakukan sampai kapal berputar sebesar 90 derajat. Namun dikarenakan pemodelan simulasi yang digunakan menggunakan *inlet* dengan arah dan kecepatan konstan searah sumbu x, *lift* yang dihasilkan oleh *rudder* tidak dapat terjadi terus menerus. Hal tersebut akan menyebabkan berubahnya sumber gaya yang memengaruhi pergerakan *saildrone* dari yang semula dikarenakan oleh *rudder*, menjadi dipengaruhi oleh lambung seiring makin besarnya *yawing*. Oleh karena itu, hasil simulasi dilakukan sampai kapal mendapatkan nilai *surge* terbesarnya. Pemodelan geometri *domain* mengikuti aturan *ITTC* mengenai jarak antara *boundary* dan model, ditetapkan batasan L untuk jarak antara model dengan *boundary top* dan *inlet*, 1.5 L untuk jarak antara model dengan *boundary side* dan *bottom*, dan 2.5 L untuk jarak antara model dengan *boundary outlet* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8 dan Gambar 9. Jarak *boundary* dengan model dinilai sudah cukup untuk menghindari terjadinya *backflow* pada bagian *outlet*, *blockage effect* pada bagian *side*, dan *shallow water effect* pada bagian *bottom*. *Boundary condition* ditetapkan sesuai dengan Tabel 1.

Tabel 1. Jenis *boundary conditions*

Boundary Conditions	
Bottom	Velocity Inlet
Inlet	Velocity Inlet
Outlet	Pressure Outlet
Side	Velocity Inlet
Top	Velocity Inlet
Hull and Rudder	Wall
Overset Box	Overset Mesh



Gambar 8 Domain tampak depan (unit meter)



Gambar 9 Domain tampak samping (unit meter)

Teknik *meshing* yang digunakan dalam simulasi adalah *overset mesh*, dengan rincian jumlah element ditunjukkan pada Tabel 2 dan tampilan visual yang diperlihatkan pada Gambar 10 – Gambar 12. *Overset mesh* dilakukan dengan memberikan *mesh* yang *overlapping* dengan ukuran *size* yang sama. Penggunaan *overset mesh* memungkinkan terjadinya pergerakan pada bagian dalam (bagian *overset*) tanpa melakukan deformasi *mesh* sebagaimana terjadi pada *morphing*. Dengan menggunakan *overset mesh*, pergerakan *yaw* dan *sway* pada kapal dengan nilai yang cukup besar dapat dilakukan dengan risiko pengurangan kualitas *mesh* yang dapat terjadi akibat adanya deformasi *mesh*. *Meshing* menggunakan model *prism layer model* untuk meningkatkan prediksi aliran turbulen yang terjadi di sekitar model.

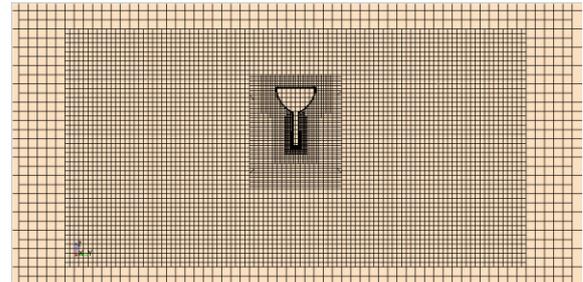
Simulasi menggunakan *RANS (Reynold Averaged Navier Stokes) method turbulence model k-ε* dikarenakan fokus yang diinginkan adalah

*motion* sehingga melihat gaya tidak perlu terlalu dekat dengan model. [14]

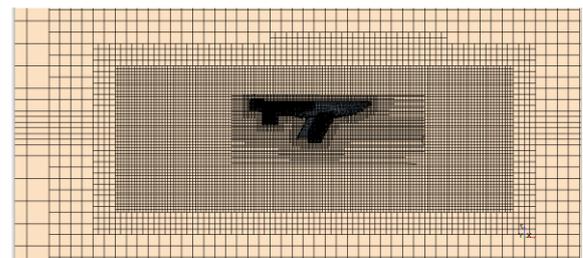
Setelah dilakukannya *mesh independent*, didapatkan *mesh* yang akan digunakan. Pengaturan *mesh* akan dilakukan menggunakan pengaturan *meshing* yang telah teruji independensi *mesh*-nya

Tabel 2. Laporan jumlah mesh

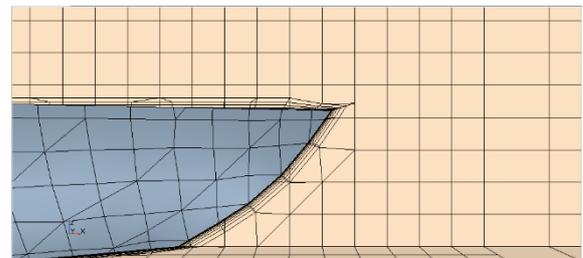
	Overset	Tank	Surface	Body
Jumlah	674155	836315	5222	37362
	Cells	Cells	Faces	Faces



Gambar 10 Mesh tampak depan



Gambar 11 Mesh tampak samping

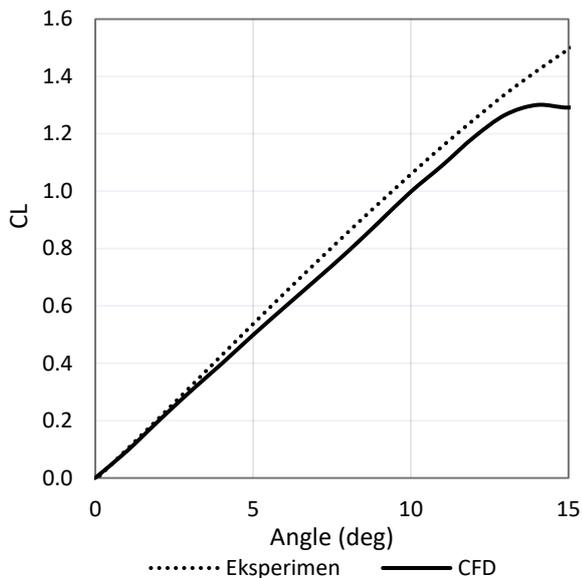


Gambar 12 Prism layer pada sekitar model

## 2.4. Validasi Metode

Proses validasi metode dilakukan dengan menggunakan NACA 0012 simetri. Data yang dihasilkan dengan menggunakan komputasi dibandingkan dengan data eksperimen yang dilakukan oleh Ladson [15]. Analisis dilakukan pada NACA 0012 dengan *chord length* 1 m dan *attack of angle* 0-15 derajat dengan interval satu derajat. Data yang dihasilkan berupa *coefficient lift*.

Gambar 13 menunjukkan perbandingan hasil simulasi CFD dengan data eksperimen yang



Gambar 13 Grafik validasi CFD dan eksperimen

dilakukan oleh Ladson. Perbedaan yang terlihat pada Gambar 13 dapat terjadi karena *solver* mengasumsikan bahwa semua aliran adalah turbulen sehingga menegasikan aliran laminar dan transisi yang ada di sekitar *leading edge* [14]. Hasil simulasi ini disimpulkan dapat diterima, Dikarenakan keterbatasan data eksperimen yang dilakukan, maka simulasi hanya menggunakan profil NACA 0012 dengan *angle of attack* 0-15 derajat.

Validasi juga dilakukan sebelum melakukan simulasi manuver menggunakan *software Star CCM+*. Validasi dilakukan dengan melakukan simulasi *drag* menggunakan *wigley hull*. Penelitian sebelumnya menunjukkan nilai *drag* yang dimiliki kapal adalah 61,1302 N [8]. Hasil simulasi *drag* yang dilakukan pada *software CFD Star CCM+* adalah 60,2263 N. Sehingga nilai *error* yang dimiliki adalah 1,47 % yang menunjukkan simulasi menggunakan *software* dapat diterima.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Karakteristik Hidrodinamis Profil

Secara teori, *lift* (gaya angkat) merupakan gaya yang terjadi karena adanya perbedaan tekanan pada kedua sisi *rudder*. Sisi dengan tekanan yang lebih besar akan bergerak menuju tekanan yang lebih rendah. *Lift* diukur berdasarkan resultan gaya yang tegak lurus dengan aliran air.

Perbedaan tekanan pada *rudder* terjadi dikarenakan adanya sudut dan *flow separation*. *Flow separation* akan menghasilkan *eddy* dan

perbedaan kecepatan. Tanpa adanya aliran dan gerakan, perbedaan ini tidak akan muncul dan tidak akan ada *lift* yang terbentuk.

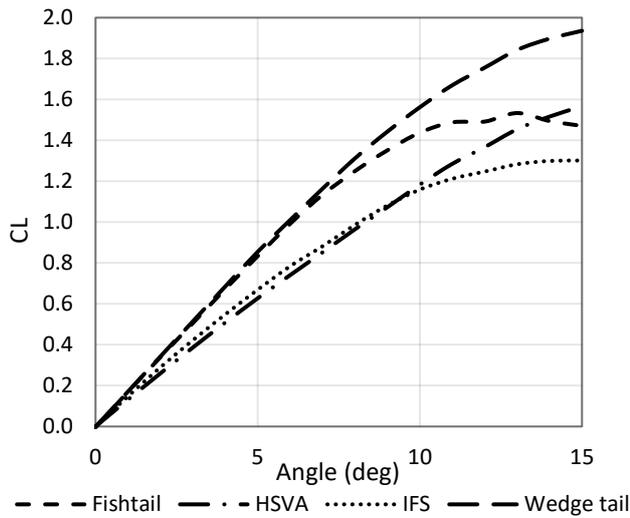
Grafik pada Gambar 14 – Gambar 19 menunjukkan hasil analisis pada profil keempat profil berupa *coefficient lift* dan *coefficient drag*. Dari Gambar 14 – Gambar 19 ditemukan bahwa *fishtail* dan *wedge tail* memiliki *coefficient lift* yang lebih besar dibandingkan dengan profil *IFS* dan *HSVA*. Hal ini dikarenakan profil *fishtail* dan *wedge tail* memiliki ekor yang dapat memengaruhi arus dan tekanan. Ekor *fishtail* memiliki bentuk yang melengkung, hal ini ditujukan untuk meredam distribusi tekanan sehingga mengurangi *stalling*. Ekor *wedge tail* berbentuk lancip yang tegas untuk mengurangi *turbulence* yang terjadi apabila bentuk ekor dibuat melengkung seperti yang terjadi pada *fishtail*. Ekor lancip yang dimiliki oleh *wedge tail* terbukti memberikan *coefficient drag* yang lebih rendah [5].

Gambar 14 – Gambar 19 menunjukkan bahwa diantara keempat profil tersebut, profil *rudder wedgetail* memiliki nilai *coefficient lift* terbesar. Profil *HSVA* dan *IFS* yang dikembangkan sebelum *fishtail* dan *wedge tail* menunjukkan nilai *coefficient lift* yang lebih rendah dibandingkan dengan *fishtail* dan *wedge tail*. Meskipun profil *HSVA* dan *IFS* memiliki gaya angkat yang lebih tinggi dibandingkan dengan NACA, tetapi kedua profil tersebut memiliki hambatan dan distribusi tekanan yang kurang baik [9]. Profil *HSVA* memiliki gaya angkat sedikit lebih kecil dibandingkan *IFS* tetapi memiliki hambatan yang jauh lebih rendah, serta distribusi tekanan yang lebih baik .

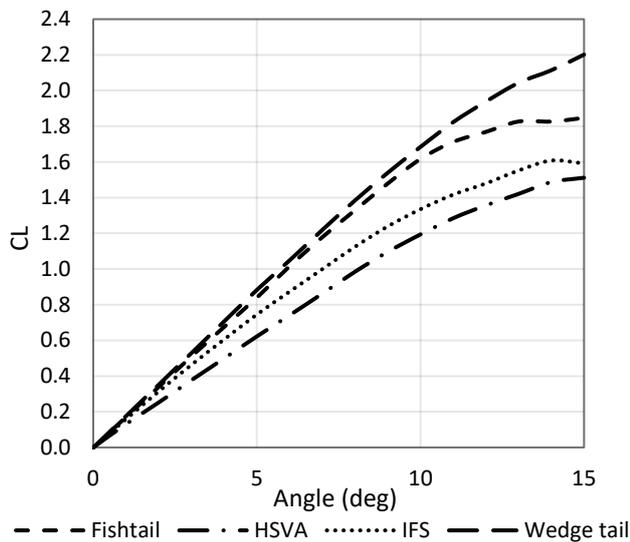
Penelitian terdahulu menemukan hasil simulasi yang serupa dengan yang dilakukan pada penelitian ini. Profil *fishtail*[2] dan *wedge tail* memiliki nilai *coefficient lift* yang besar. Hasil yang serupa juga ditemukan pada profil *HSVA* yang memiliki nilai *coefficient lift* terendah kemudian diikuti oleh profil *IFS* [12].

Gambar 20 – Gambar 23 menunjukkan *contour pressure* pada masing-masing profil. Karakteristik tekanan pada profil menjelaskan nilai gaya angkat dan hambatan yang dimiliki profil sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 14 – Gambar 19. *Fishtail* dan *wedge tail* memiliki perbedaan tekanan pada *face* dan *back* yang besar yang menjelaskan mengapa kedua profil tersebut memiliki *lift* yang besar dibandingkan kedua profil lainnya. *Wedge tail* dan *HSVA* memiliki distribusi tekanan pada daerah *back* yang lebih baik dibandingkan kedua profil lainnya yang

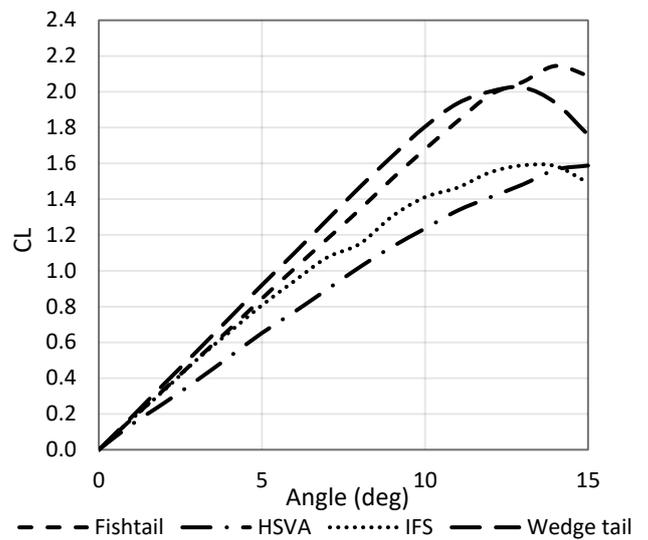
menjelaskan bagaimana kedua profil memiliki *drag* yang lebih rendah.



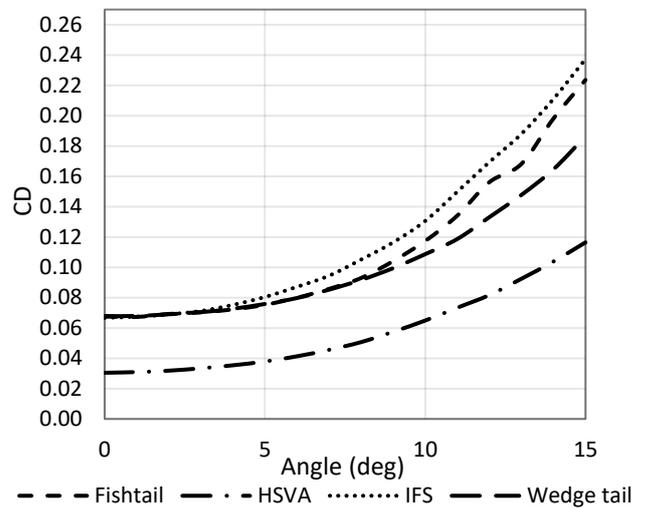
Gambar 14 Grafik *CL* pada kecepatan 1 knot



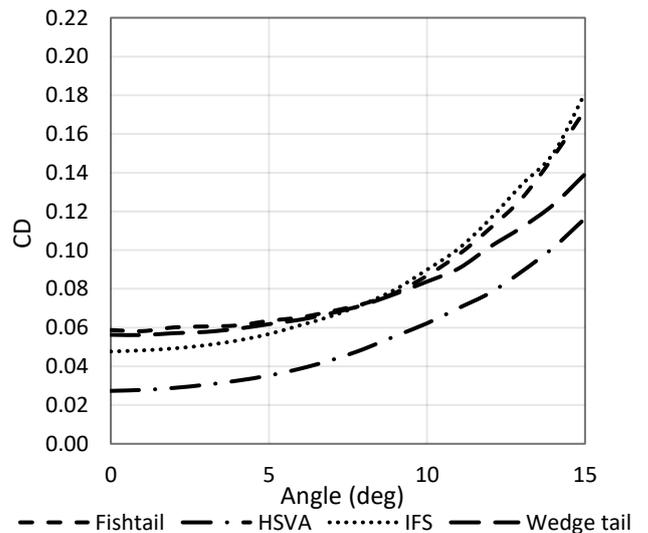
Gambar 15 Grafik *CL* pada kecepatan 2 knot



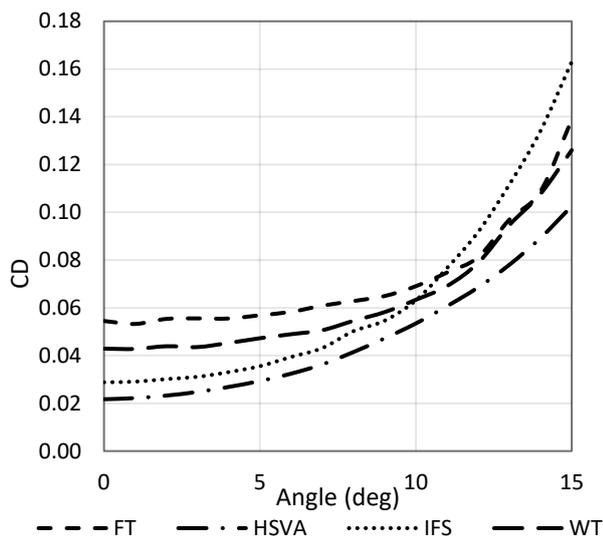
Gambar 16 Grafik *CL* pada kecepatan 8 knot



Gambar 17 Grafik *CD* pada kecepatan 1 knot

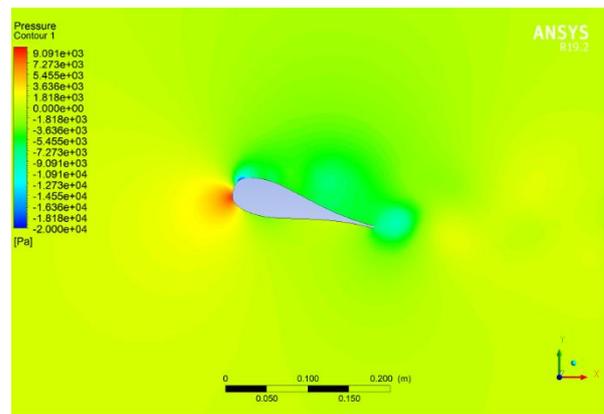


Gambar 18 Grafik *CD* pada kecepatan 2 knot

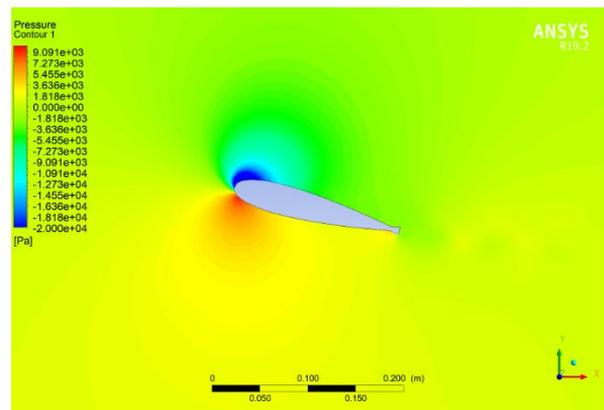


Gambar 19 Grafik  $CD$  pada kecepatan 8 knot

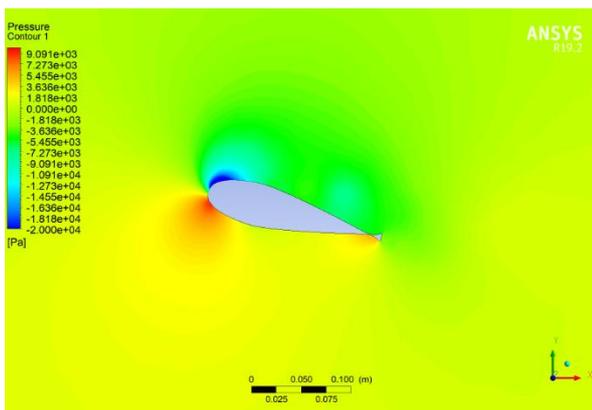
Data dapat digunakan sebagai data pendukung saat melakukan analisis pada manuver kapal. Karakteristik hidrodinamis (*coefficient lift and drag*) dapat dijadikan parameter terhadap kemampuan manuver profil.



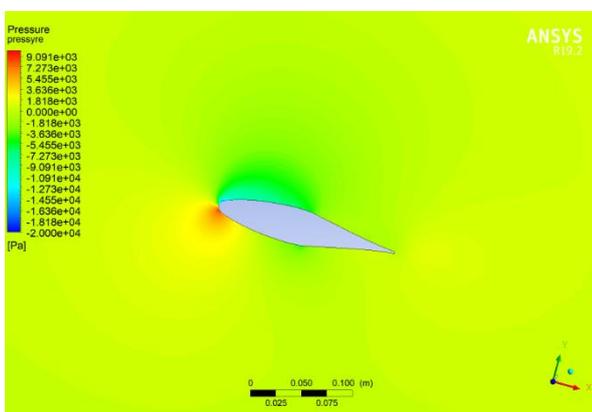
Gambar 22 Kontur tekanan profil *IFS*



Gambar 23 Kontur tekanan profil *wedge tail*



Gambar 20 Kontur tekanan profil *fishtail*

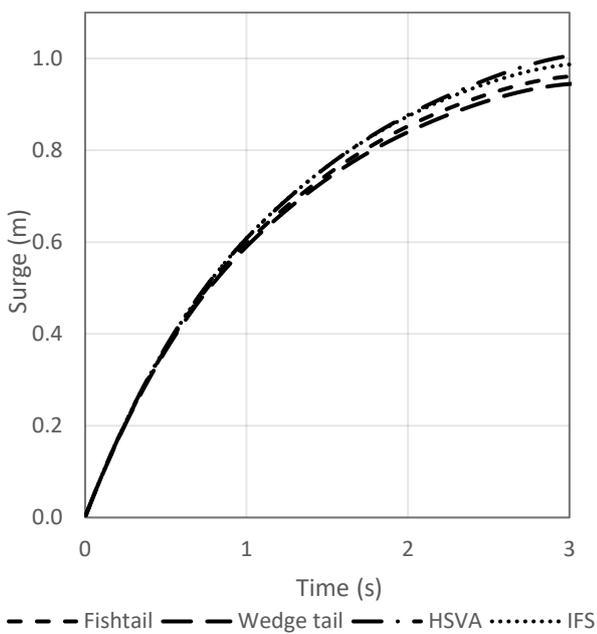


Gambar 21 Kontur tekanan profil *HSVA*

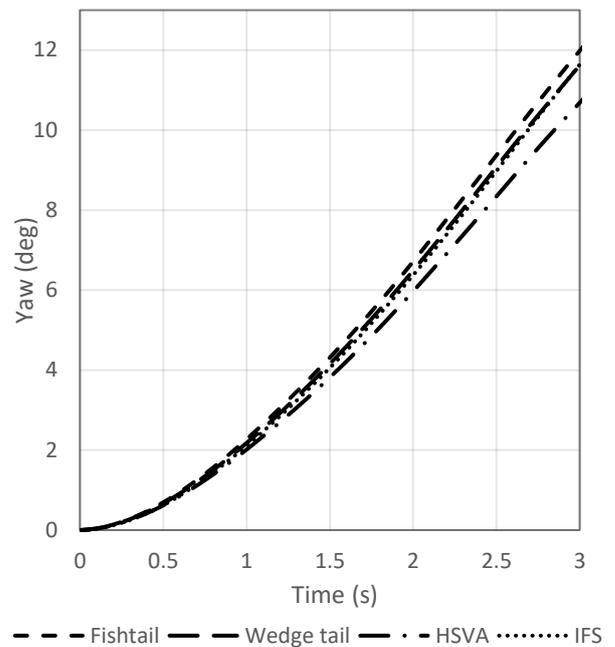
### 3.2. Kemampuan manuver *Saildrone*

Grafik pada Gambar 24 – Gambar 26 menunjukkan perbandingan hasil running analisis pada profil *rudder*. Profil *rudder* dengan *coefficient lift* yang tinggi seperti *fishtail* dan *wedge tail* memiliki nilai *swaying* dan *yawing* yang besar. Hal tersebut dikarenakan *lift* memberikan gaya yang memengaruhi pergerakan *saildrone*. Gaya yang diberikan *rudder* pada bagian *after* juga memberikan momen kepada kapal yang menyebabkan terjadinya *yawing*. Gambar 24 juga menunjukkan profil yang memiliki *lift* yang tinggi memiliki *surging* yang lebih rendah. Ketiga grafik yang ditunjukkan pada Gambar 24 – Gambar 26 bukanlah satu grafik yang terpisah. Grafik pada Gambar 24 – Gambar 26 merupakan nilai yang dimiliki oleh *saildrone* saat melakukan manuver yang meliputi ketiga gerakan tersebut. Oleh karena itu perlu diperhatikan hubungan di antara grafik. Gambar 27 menunjukkan pergerakan *saildrone* dengan melihat perubahan posisi kapal pada sumbu *x* (*surging*) dan *y* (*swaying*).

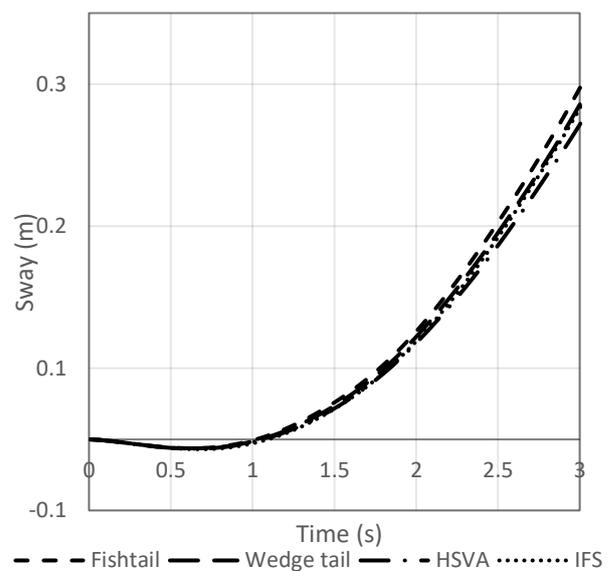
Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 27, profil *wedgetail* memiliki kemampuan manuver yang paling baik. Hal tersebut ditandai cepatnya gerakan menyamping *saildrone* dengan *rudder wedgetail* apabila dibandingkan dengan profil lainnya. Hasil analisis manuver dan karakteristik hidrodinamis *rudder* menunjukkan bahwa *coefficient lift* yang baik akan menghasilkan manuver yang baik. *Coefficient drag* tidak terlalu memengaruhi manuver kapal. Hal tersebut dapat dilihat pada profil *IFS* dan *HSVA* yang memiliki kemampuan manuver yang tidak jauh berbeda walaupun memiliki perbedaan *coefficient drag* yang cukup besar. Hasil penelitian ini serupa dengan penelitian yang dilakukan oleh Hasanvand yang menemukan bahwa profil dengan *coefficient lift* terbesar memiliki performa *turning maneuver* yang terbaik meskipun profil *rudder* tersebut memiliki *coefficient drag* yang tinggi [12].



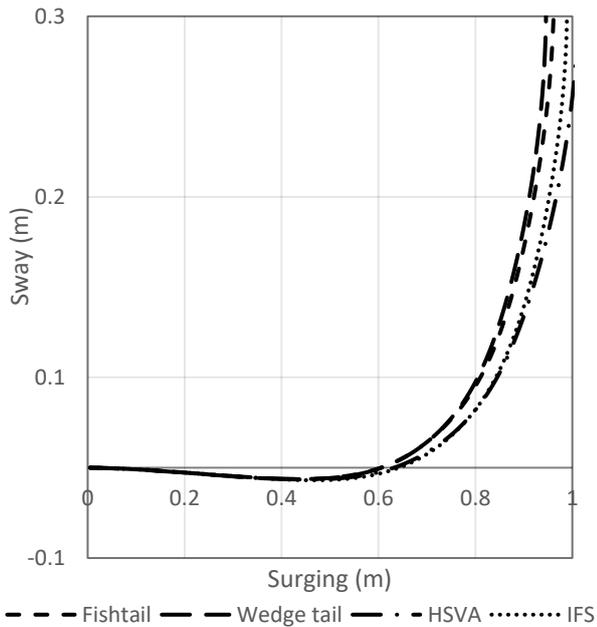
Gambar 24. Monitor gerakan *surging saildrone*



Gambar 25. Monitor gerakan *yawing saildrone*



Gambar 26 Monitor gerakan *swaying saildrone*



Gambar 27 Second stage turning maneuver

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi yang dilakukan, *wedge tail* memiliki *coefficient lift* terbesar. Saldrone yang menggunakan profil ruder *wedge tail* memiliki kemampuan manuver yang lebih baik dibandingkan dengan profil *fish tail*, *IFS*, dan *HSVA*. Berdasarkan nilai *coefficient lift* dan *drag*, profil dengan *coefficient lift* yang tinggi memberikan manuver yang lebih baik dibandingkan dengan profil yang memiliki *coefficient lift* yang rendah. *Coefficient drag*, di sisi lain, tidak memberikan banyak pengaruh. Oleh karena itu, disimpulkan bahwa profil *wedge tail* merupakan profil terbaik yang dapat digunakan untuk *rudder* saildrone pada kecepatan 2 knot.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. M. Larrazabal, M. Santos, "Intelligent rudder control of an unmanned surface vessel," pp. 1–12, 2016.
- [2] J. Liu, "Impacts of the rudder profile on manoeuvring performance of ships," *Ocean Eng.*, vol. 124, pp. 226–240, 2016.
- [3] H. Yasukawa and Y. Yoshimura, "Introduction of MMG standard method for ship maneuvering predictions," *J. Mar. Sci. Technol.*, vol. 20, no. 1, pp. 37–52, 2015.
- [4] B. Johanes, "Analisa Variasi Posisi Rudder Terhadap Efektivitas Manuver Kapal," *Jurnal Teknik Perkapalan ITS*, vol 6, 2017.
- [5] J. Liu, R. Hekkenberg, "Sixty years of research on ship rudders: effects of design choices on rudder performance," *Ships Offshore Struct.*, vol. 12, no. 4, pp. 495–512, 2017.
- [6] V. T. Nguyen, "Development of a High Lift Performance Rudder with Wedge Tail," Osaka Prefecture University, 2016.
- [7] C. Tretow, "Design of a free-rotating wing sail for an autonomous sailboat," pp. 10–16, 2017.
- [8] L. I. Saputra, U. Budiarto, and S. Jokosisworo, "Jurnal teknik perkapalan," *Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 2, pp. 421–430, 2017.
- [9] V. Bertram, *Practical Ship Hydrodynamics*. 2000.
- [10] T. H., *Design of ship rudders*, no. November 1965. University of Hamburg, 1965.
- [11] J. Liu, R. Hekkenberg., "Hydrodynamic characteristics of multiple-rudder configurations Hydrodynamic characteristics of multiple-rudder configurations," vol. 5302, no. February, 2017.
- [12] A. Hasanvand, "Investigating the effect of rudder profile on 6DOF ship turning performance," *Appl. Ocean Res.*, vol. 92, no. June, 2019.
- [13] M. Zaky, M. Sano, and H. Yasukawa, "Improvement of maneuverability in a VLCC by a high lift rudder," *Ocean Eng.*, vol. 165, no. April, pp. 438–449, 2018.
- [14] Douvi C. Eleni, "Evaluation of the turbulence models for the simulation of the flow over a National Advisory Committee for Aeronautics (NACA) 0012 airfoil," *J. Mech. Eng. Res.*, vol. 4, no. 3, pp. 100–111, 2012.
- [15] Ladson. 1988. "CLCD\_Ladson\_expdata." Available: [https://turbmodels.larc.nasa.gov/NACA0012\\_validation/CLCD\\_Ladson\\_expdata.dat](https://turbmodels.larc.nasa.gov/NACA0012_validation/CLCD_Ladson_expdata.dat).

Tabel Pemeriksaan Isi Artikel