



ISSN 2338-0322

# JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

## Analisa Pengaruh Penambahan *Fin Keel* terhadap Hambatan, Pola Aliran, dan Stabilitas pada Kapal *Ferry Ro-Ro* 1000 GT

Rezky Naufal Pratama<sup>1)</sup>, Parlindungan Manik<sup>1)</sup>, Hartono Yudo<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Laboratorium Perencanaan Kapal Dibantu Komputer

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

\*e-mail : rezkynaufal@gmail.com, [parlin1974@yahoo.com](mailto:parlin1974@yahoo.com), [hartono.yudo@yahoo.com](mailto:hartono.yudo@yahoo.com)

### Abstrak

Kapal *Ferry Ro-Ro* merupakan salah satu alat transportasi yang dapat diandalkan untuk melayani penumpang antar pulau karena harga tiket yang relatif murah. Untuk menjaga hal itu maka perlu adanya peningkatan kenyamanan serta keselamatan penumpang dan efisiensi bahan bakar, salah satu cara nya adalah dengan mengurangi hambatan, mengefisienkan pola aliran, serta meningkatkan stabilitas dengan meneliti penggunaan *fin keel*. Penelitian ini menggunakan software *Maxsurf* dan *CFD* dengan variasi tinggi dan posisi *fin keel* di lunas kapal dan bertujuan untuk membandingkan hambatan, kecepatan aliran, serta nilai *GZ* maksimum yang lalu dibandingkan dengan analisa kapal asli yang sudah ada. Hasilnya adalah kapal dengan *fin keel* berbagai variasi memiliki nilai hambatan 0.13%-1.32% lebih kecil dibanding dengan kapal tanpa *fin keel*, kecepatan aliran 0.01% lebih kecil sampai dengan 0.7% lebih besar dibanding kapal asli, serta nilai *GZ* maksimal 9.62%-9.81% lebih kecil dibanding kapal asli.

Kata Kunci : *Ferry Ro-Ro*, *Fin Keel*, *CFD*, *NACA*

### 1. PENDAHULUAN

Kapal *Ferry Ro-Ro* adalah kapal yang memiliki satu atau lebih geladak baik terbuka maupun tertutup yang digunakan untuk mengangkut segala jenis kendaraan sebagai muatan yang dimuat melalui sistem pintu rampa di bagian depan maupun belakang kapal dan dimuat serta dibongkar dari dan ke atas kapal menggunakan kendaraan atau *platform* yang dilengkapi dengan roda [1].

Terdapat beberapa faktor yang dapat mewujudkan terciptanya kapal *Ferry Ro-Ro* yang hemat energi dan menimbulkan kenyamanan untuk mendukung predikatnya sebagai transportasi pilihan untuk melayani penumpang antar pulau, salah satu nya adalah mengurangi hambatan pada kapal karena hambatan yang terjadi pada kapal dapat mempengaruhi kecepatan dan konsumsi bahan bakar pada kapal tersebut. Salah satu inovasi yang bisa diwujudkan untuk mengurangi hambatan dan optimalisasi stabilitas adalah dengan menambahkan *fin keel* pada bagian lunas kapal.

*Fin keel* adalah sebuah pelat baja tipis yang terpasang pada bagian lunas kapal untuk memberikan gaya yang berlawanan dengan gaya *lateral* dan terkadang terdapat *bulb* pada ujung bawah nya untuk memberikan stabilitas melintang. Ada beberapa penelitian yang meneliti pengaruh penambahan tonjolan pada lunas kapal seperti *fin stabilizer* maupun *bilge keel* pada hambatan [2] dan [3] dan memberikan efek berkurangnya hambatan, pengaruh pada stabilitas [4] dan memberi efek stabilitas lebih optimal, pengaruh pada pola aliran [5] dan memberi efek aliran lebih cepat, serta pengaplikasiannya pada kapal *Ferry Ro-Ro* [6] namun sejauh ini belum ada penelitian yang menunjukkan pengaruh *fin keel* pada hambatan kapal *Ferry Ro-Ro* namun penelitian [7] menyatakan bahwa luasan bidang pada *fin keel* dan perbedaan karakteristik bahan hidrofoil *NACA-64* dan *NACA-65* dapat berpengaruh pada koefisien lift dan hambatan yang dihasilkan, oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk pengaruh dari *fin keel* tersebut terhadap hambatan, kecepatan aliran, dan nilai *GZ* maksimum pada stabilitas.

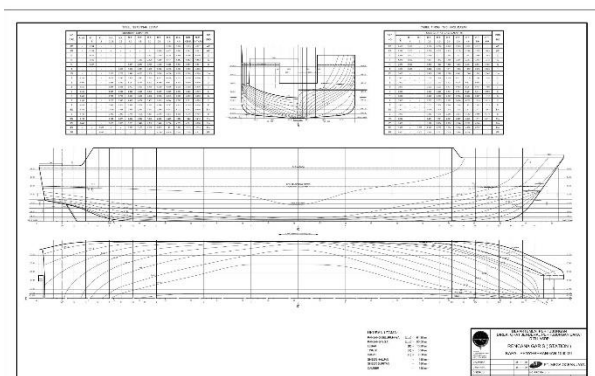
## 2. METODE

### 2.1. Objek Penelitian

Penelitian ini menggunakan kapal *Ferry Ro-Ro 1000 GT* dengan ukuran utama dan *lines plan* yang dapat dilihat pada tabel 1 dan gambar 1.

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal

No	Dimensi	Nilai
1	<i>Length Over All</i> (LOA)	61.30 m
2	<i>Length between Perpendicular</i> (LPP)	57.01 m
3	<i>Breadth</i> (B)	13.2 m
4	<i>Depth</i> (H)	3.9 m
5	<i>Draught</i> (T)	2.5 m
6	<i>Speed of Trial</i> (Vt)	15 Knot



Gambar 1. *Lines Plan* Kapal *Ferry Ro-Ro 1000 GT*

### 2.2. Perlakuan Objek Penelitian

Benda yang ditambahkan pada objek penelitian adalah *fin keel* dengan berbagai variasi yang dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Variasi *Fin Keel*

No	Posisi	Tinggi (m)
1	<i>Midship</i>	1
2	Belakang	1
3	Diantara <i>Midship</i> dan belakang	1
4	<i>Midship</i>	1.5
5	Belakang	1.5
6	Diantara <i>Midship</i> dan belakang	1.5

### 2.3. Parameter Penelitian

Penelitian ini berfokuskan pada apa yang terjadi pada hambatan, pola aliran, dan stabilitas apabila sebuah kapal ditambahkan *fin keel* di lunas kapal. Penelitian ini memberikan simulasi perbandingan antara nilai hambatan, kecepatan aliran, dan stabilitas kapal asli dengan kapal yang sudah diberikan *fin keel*. Parameter yang digunakan adalah sebagai berikut:

Parameter yang tetap:

1. LOA kapal
2. LPP kapal
3. B kapal
4. Vt kapal

Parameter yang berubah:

1. T kapal
2. H kapal

### 2.4. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan adalah seperangkat komputer yang telah dilengkapi dengan *software* Rhinoceros, Maxsurf, dan Tdyn. Bahan yang digunakan adalah data *lines plan* kapal yang kemudian dimodelkan.

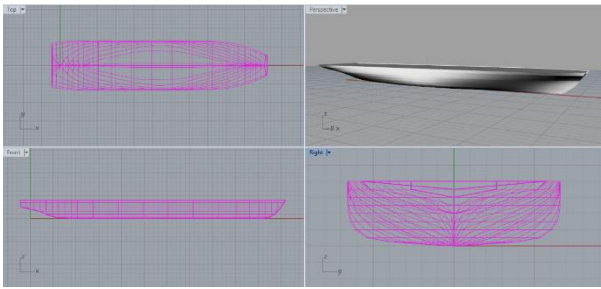
### 2.5. Pengolahan Data

Data primer kapal yang sudah didapatkan berupa *lines plan* dan geometri NACA 65-218 diolah dengan langkah sebagai berikut:

1. Permodelan 3D kapal menggunakan Rhinoceros dengan acuan *lines plan*.
2. Permodelan 3D *fin keel* menggunakan Rhinoceros dengan acuan geometri yang sudah didapat.
3. Penggabungan antara model 3D kapal dengan *fin keel*.
4. Model 3D dari Rhinoceros diexport dengan format .msd untuk menganalisa stabilitas di Maxsurf.
5. Model 3D dari Rhinoceros diexport dengan format .vda untuk menganalisa hambatan dan pola aliran di Tdyn.

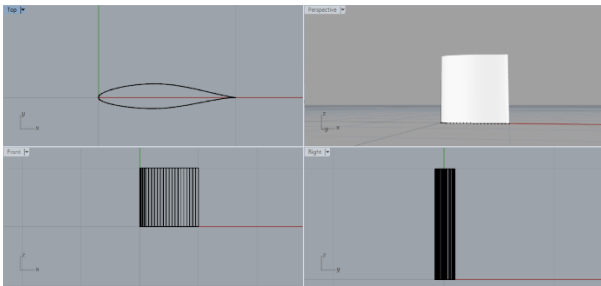
### 2.6. Permodelan 3D

Dengan menggunakan *lines plan* sebagai acuan lalu akan didapat model 3D kapal sebagaimana tertera pada gambar 2.



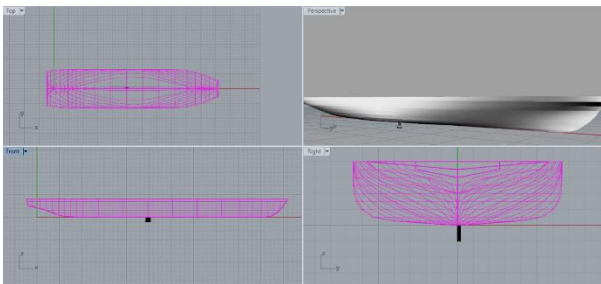
Gambar 2. Model 3D Kapal Ferry Ro-Ro 1000 GT

Dengan menggunakan geometri sebagai acuan akan didapat juga model 3D *fin keel* sebagaimana tertera pada gambar 3.

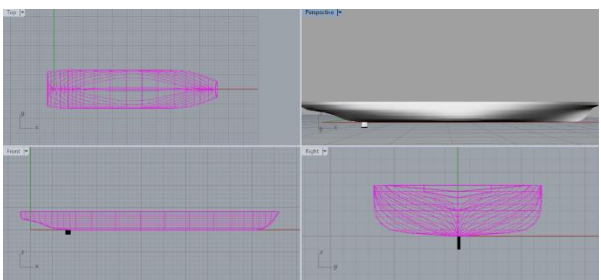


Gambar 3. Model *Fin Keel* NACA 65-218

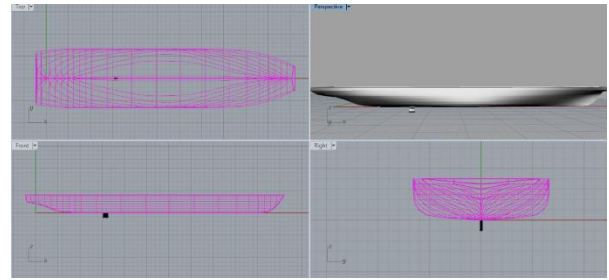
Setelah itu kedua model tersebut disatukan sebagaimana tertera pada gambar 4 sampai dengan gambar 9.



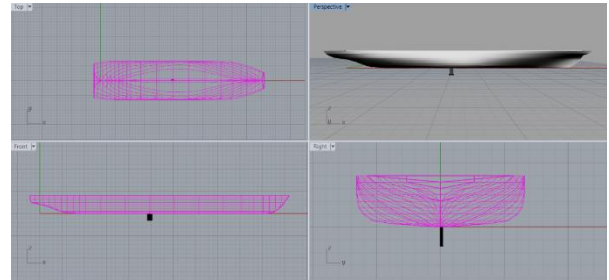
Gambar 4. Model Kapal 1



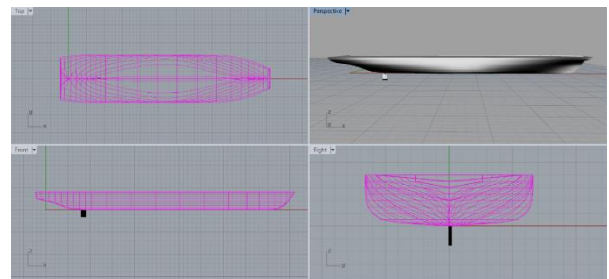
Gambar 5. Model Kapal 2



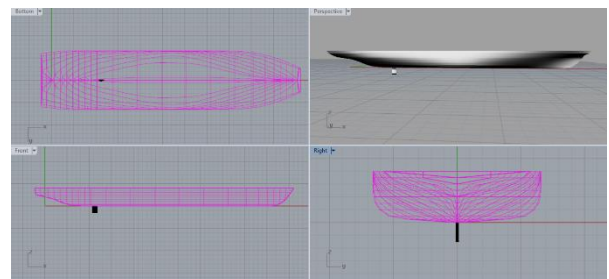
Gambar 6. Model Kapal 3



Gambar 7. Model Kapal 4



Gambar 8. Model Kapal 5



Gambar 9. Model Kapal 6

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Analisa Hambatan

Hambatan adalah gerakan fluida yang melawan arah gerakan kapal yang mempunyai kecepatan tertentu sehingga menimbulkan gaya fluida yang berlawanan dengan gaya kapal [8]. Hambatan total pada kapal ( $R_t$ ) adalah penjumlahan dari hambatan gelombang ( $R_w$ ) dan hambatan viskositas ( $R_v$ ).

Ada beberapa cara yang dapat digunakan untuk memperoleh nilai hambatan, salah satunya adalah menggunakan *software* berbasis CFD karena *software* CFD cukup akurat untuk

menghitung hambatan kapal dengan *Froude Number* yang rendah dengan rentang nilai  $\leq 0.59$  [9]. Persamaan berikut digunakan untuk mencari nilai dari *Froude Number*.

Tabel berikut menunjukkan variabel yang digunakan untuk melakukan analisa.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gL}} \quad (1)$$

dimana  $v$  adalah kecepatan kapal dalam m/s,  $g$  adalah percepatan gravitasi bumi ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ) dan  $L$  adalah panjang kapal dalam meter.

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan  $Fr$  sebesar 0.326, nilai yang cukup kecil untuk mendapatkan nilai yang akurat berdasarkan [9].

Sebelum melakukan analisa melalui *software CFD*, perlu adanya memasukkan variabel yang diperlukan seperti yang tertera pada tabel 3.

Tabel 3. Variabel *Running Software CFD*

No	Variabel	Nilai
1	Time Increment	0.02
2	Number of Steps	1200
3	Initial Steps	50
4	Output Steps	50
5	Results Files	Binary1

Apabila variabel sudah dimasukan maka selanjutnya adalah melakukan analisa hambatan dengan hasil sebagai berikut.

Tabel 4. Koefisien Hambatan Model Kapal

Model Kapal	Hambatan Gelombang (kN)	Hambatan Viskositas (kN)
Model Kapal	0.31271	0.32908
Model 1	0.31036	0.32944
Model 2	0.30384	0.32927
Model 3	0.31083	0.32948
Model 4	0.31132	0.3294
Model 5	0.31037	0.32911
Model 6	0.31157	0.32933

Untuk mencari nilai hambatan, nilai koefisien hambatan tersebut harus dimasukan ke persamaan (2) sebagai berikut.

$$C_T = \frac{R_T}{1/2 v^2 \rho WSA} \quad (2)$$

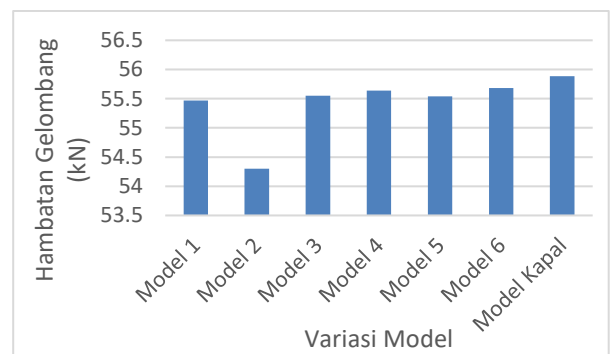
dimana  $C_T$  koefisien hambatan total kapal,  $R_T$  adalah hambatan total kapal (N),  $v$  adalah kecepatan kapal (m/s),  $\rho$  adalah massa jenis air laut ( $1025 \text{ kg/m}^3$ ) dan  $WSA$  adalah luas permukaan basah lambung kapal ( $\text{m}^2$ ).

Berdasarkan persamaan tersebut maka didapatkan hambatan total model kapal yang akan dibandingkan dengan hambatan kapal asli untuk menunjukkan validasi model tersebut seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 5. Validasi Model dengan Kapal Asli

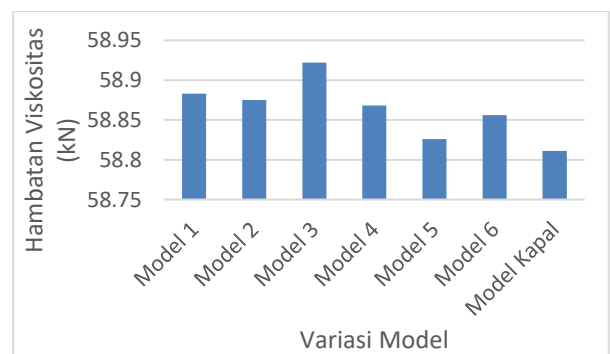
No	Nama	Hambatan Total (kN)
1	Kapal Asli	117.647
2	Model Kapal	114.731

Perbedaan yang ditunjukkan pada tabel 4 antara kapal asli dengan kapal model adalah sebesar 2.47%.



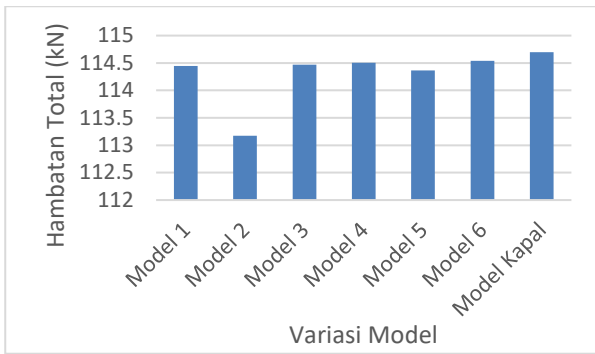
Gambar 10. Grafik Hambatan Gelombang

Berdasarkan data tersebut didapatkan bahwa nilai hambatan gelombang model 1 sebesar 55.566 kN, model 2 sebesar 54.3 kN, model 3 sebesar 55.55 kN, model 4 sebesar 55.637 kN, model 5 sebesar 55.539 kN, dan model 6 sebesar 55.682 kN.



Gambar 11. Grafik Hambatan Viskositas

Berdasarkan data tersebut didapatkan bahwa nilai hambatan gelombang model 1 sebesar 58.883 kN, model 2 sebesar 58.875 kN, model 3 sebesar 58.922 kN, model 4 sebesar 58.868 kN, model 5 sebesar 58.826 kN, dan model 6 sebesar 58.856 kN.



Gambar 12. Grafik Hambatan Total

Berdasarkan data tersebut didapatkan bahwa nilai hambatan gelombang model 1 sebesar 114.449 kN, model 2 sebesar 113.175 kN, model 3 sebesar 114.472 kN, model 4 sebesar 114.505 kN, model 5 sebesar 114.365 kN, dan model 6 sebesar 114.538 kN.

Dari hasil analisa hambatan didapatkan bahwa model 1 memiliki hambatan total sebesar 0.21% lebih kecil dibandingkan hambatan total kapal asli, model 2 memiliki hambatan total sebesar 1.32% lebih kecil dibandingkan hambatan total kapal asli, model 3 memiliki hambatan total sebesar 0.19% lebih kecil dibandingkan hambatan total kapal asli, model 4 memiliki hambatan total sebesar 0.16% lebih kecil dibandingkan hambatan total kapal asli, model 5 memiliki hambatan total sebesar 0.28% lebih kecil dibandingkan hambatan total kapal asli, model 6 memiliki hambatan total sebesar 0.13% lebih kecil dibandingkan hambatan total kapal asli.

### 3.2. Evaluasi Analisa Hambatan

Berdasarkan analisa, hambatan total yang terjadi pada kapal yang dilengkapi dengan *fin keel* terjadi pengurangan. Hal itu disebabkan karena *fin keel* yang mempunyai bahan dasar hidrofoil dapat memberikan gaya angkat sehingga badan kapal yang tercelup dalam air atau *wetted surface area* mengalami pengurangan sehingga gesekan antara badan kapal dan fluida air berkurang [10]. Besarnya *wetted surface area* pada kapal dapat dilihat pada tabel 6.

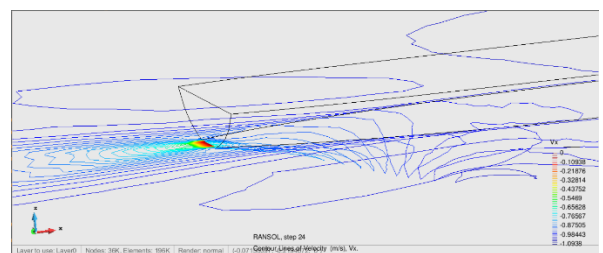
Tabel 6. *Wetted Surface Area* Kapal

Model Kapal	<i>Wetted Surface Area</i> (m <sup>2</sup> )
Model Kapal	39.937
Model 1	38.016
Model 2	37.372
Model 3	38.726
Model 4	39.034
Model 5	38.519
Model 6	39.253

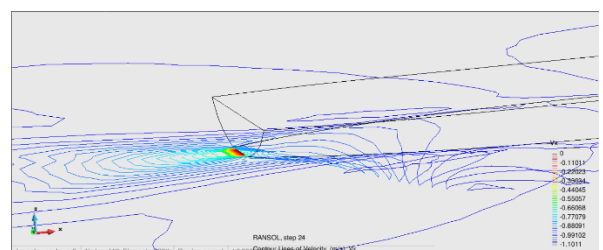
### 3.3. Analisa Pola Aliran

Aliran fluida berdasarkan [11] terbagi menjadi 3 jenis, yaitu aliran laminar yang mempunyai ciri-ciri aliran fluida nya teratur, kecepatannya rendah, dan viskositas nya tinggi, lalu ada aliran turbulen yang memiliki ciri-ciri aliran fluida nya teratur, kecepatannya tinggi, dan viskositas nya rendah, lalu yang terakhir adalah aliran transisi yang merupakan aliran diantara apabila terjadi perubahan dari aliran laminar ke turbulen maupun sebaliknya.

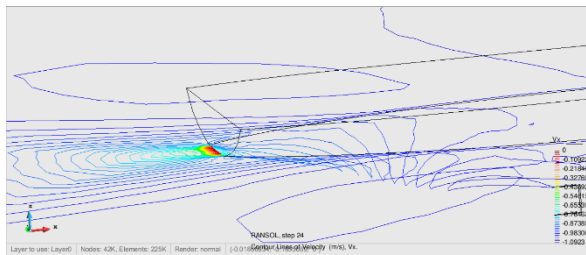
Selain itu terdapat fenomena aliran fluida lainnya yaitu fenomena aliran fluida di belakang kapal yang nantinya akan masuk ke *propeller*, yaitu *Velocity of Advance* ( $V_a$ ) yaitu kecepatan air yang memasuki *propeller* dan *Wake* yang merupakan perbedaan kecepatan antara  $V_a$  dengan  $V_s$  kapal [12]. Berikut adalah hasil analisa CFD untuk mencari nilai  $V_a$  dari 6 model kapal.



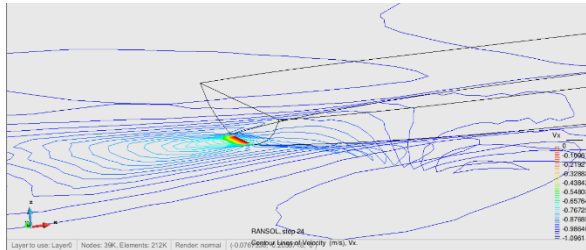
Gambar 13. Aliran Fluida Kapal Model



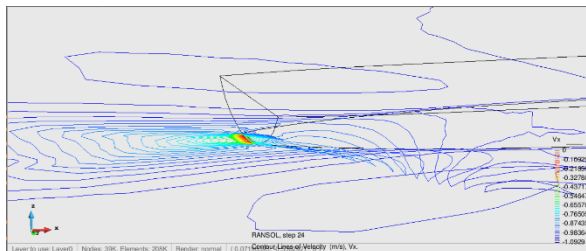
Gambar 14. Aliran Fluida Model 1



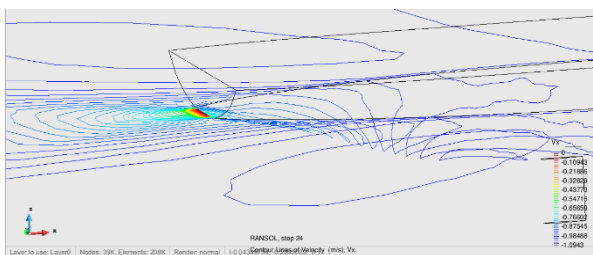
Gambar 15. Aliran Fluida Model 2



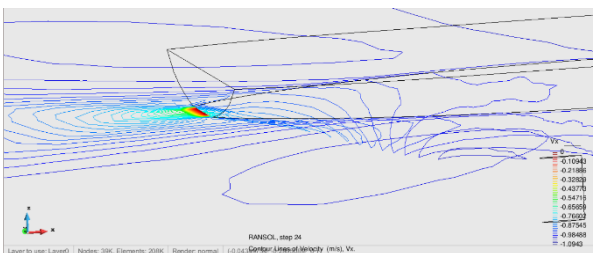
Gambar 16. Aliran Fluida Model 3



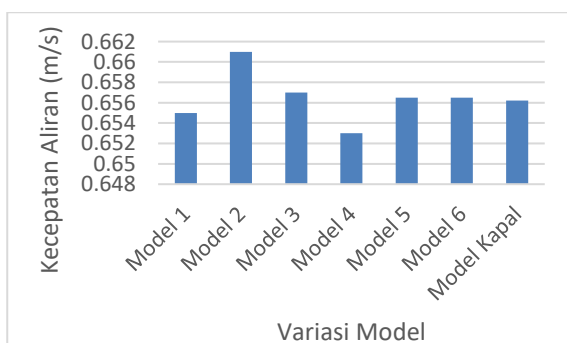
Gambar 17. Aliran Fluida Model 4



Gambar 18. Aliran Fluida Model 5



Gambar 19. Aliran Fluida Model 6



Gambar 20. Grafik Kecepatan Fluida

Dari hasil analisa aliran fluida didapatkan bahwa model 1 memiliki kecepatan aliran fluida sebesar 0.15% lebih kecil dibandingkan aliran fluida kapal asli, model 2 memiliki kecepatan aliran fluida sebesar 0.7% lebih besar dibandingkan aliran fluida kapal asli, model 3 memiliki kecepatan aliran fluida sebesar 0.15% lebih besar dibandingkan aliran fluida kapal asli, model 4 memiliki kecepatan aliran fluida sebesar 0.15% lebih kecil dibandingkan aliran fluida kapal asli, model 5 memiliki kecepatan aliran fluida sebesar 0.08% lebih besar dibandingkan aliran fluida kapal asli, model 6 memiliki kecepatan aliran fluida sebesar 0.01% lebih kecil dibandingkan aliran fluida kapal asli.

### 3.4. Analisa Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan sebuah kapal untuk dapat kembali tegak atau ke posisi semula setelah menjadi miring akibat adanya gaya yang dihasilkan dari luar kapal maupun dari dalam kapal tersebut [13]. Analisa stabilitas yang akan dilakukan harus memenuhi standar regulasi IMO A.749(18) *Code on Intact Stability*. Pada penelitian ini masing-masing model akan dianalisa dengan 6 variasi kondisi yaitu:

1. Kapal dengan penumpang 379 orang, 15 truk & 2 sedan siap berangkat (bahan bakar & air tawar 100%)
2. Kapal dengan penumpang 379 orang, 15 truk & 2 sedan tiba di tempat (bahan bakar & air tawar 10%)
3. Kapal dengan 15 truk & 2 sedan tanpa penumpang siap berangkat (bahan bakar & air tawar 100%)
4. Kapal dengan 15 truk & 2 sedan tanpa penumpang tiba di tempat (bahan bakar & air tawar 10%)
5. Kapal kosong dengan ballas siap berangkat (bahan bakar & air tawar 100%)
6. Kapal kosong dengan ballas tiba di tempat (bahan bakar & air tawar 10%)

Berikut adalah hasil analisis stabilitas berupa perbandingan 6 model nilai GZ maksimum pada 6 kondisi.

Tabel 7. Tabel Kondisi 1 10°-40°

Model	10° (m)	20° (m)	30° (m)	40° (m)
Model	0.578	1.007	1.129	0.999
1	0.795	1.000	1.010	0.937
2	0.809	1.003	1.016	0.943
3	0.808	1.005	1.020	0.951
4	0.806	0.997	1.013	0.942
5	0.804	1.002	1.018	0.947
6	0.809	1.006	1.020	0.952

Tabel 8. Tabel Kondisi 1 50°-90°

50° (m)	60° (m)	70° (m)	80° (m)	90° (m)
0.544	-0.040	-0.669	-1.309	-1.919
0.817	0.668	-0.090	-0.302	-0.496
0.806	0.671	-0.076	-0.292	-0.494
0.831	0.674	-0.076	-0.288	-0.491
0.828	0.665	-0.085	-0.291	-0.493
0.805	0.670	-0.078	-0.293	-0.495
0.832	0.675	-0.076	-0.288	-0.490

Dari tabel tersebut diketahui bahwa model 1 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 1.010 m, model 2 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 1.016 m, model 3 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 1.020 m, model 4 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 1.013 m, model 5 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 1.018 m, dan model 6 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 1.020 m.

Tabel 9. Tabel Kondisi 2 10°-40°

Model	10° (m)	20° (m)	30° (m)	40° (m)
Model	0.543	0.950	1.087	0.873
1	0.787	0.986	0.978	0.899
2	0.799	0.981	0.985	0.908
3	0.796	0.987	0.988	0.910
4	0.800	0.978	0.983	0.904
5	0.801	0.984	0.989	0.903
6	0.799	0.987	0.991	0.913

Tabel 10. Tabel Kondisi 2 50°-90°

50° (m)	60° (m)	70° (m)	80° (m)	90° (m)
0.425	0.203	-0.880	-1.567	-2.224
0.784	0.606	-0.024	-0.225	-0.443
0.785	0.614	-0.017	-0.233	-0.431
0.782	0.620	-0.014	-0.228	-0.433
0.776	0.611	-0.019	-0.225	-0.430
0.761	0.618	-0.011	-0.227	-0.434
0.785	0.620	-0.011	-0.225	-0.430

Dari tabel tersebut diketahui bahwa model 1 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 0.978 m, model 2 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 0.985 m, model 3 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 0.988 m, model 4 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 0.983 m, model 5 memiliki

nilai GZ maksimum sebesar 0.989 m, dan model 6 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 0.991 m.

Tabel 11. Tabel Kondisi 3 10°-40°

Model	10° (m)	20° (m)	30° (m)	40° (m)
Model	0.609	1.069	1.219	1.115
1	0.765	0.902	1.063	0.873
2	0.785	0.893	1.072	0.884
3	0.781	0.900	1.079	0.892
4	0.785	0.902	1.069	0.893
5	0.782	0.901	1.080	0.892
6	0.785	0.904	1.083	0.895

Tabel 12. Tabel Kondisi 3 50°-90°

50° (m)	60° (m)	70° (m)	80° (m)	90° (m)
0.682	0.116	-0.500	-1.132	-1.740
0.348	-0.298	-0.781	-1.598	-2.170
0.359	-0.286	-0.761	-1.589	-2.181
0.370	-0.301	-0.765	-1.582	-2.174
0.368	-0.298	-0.761	-1.578	-2.170
0.370	-0.300	-0.764	-1.578	-2.173
0.370	-0.297	-0.761	-1.578	-2.170

Dari tabel tersebut diketahui bahwa model 1 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 1.063 m, model 2 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 1.072 m, model 3 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 1.079 m, model 4 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 1.069 m, model 5 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 1.080 m, dan model 6 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 1.084 m.

Tabel 13. Tabel Kondisi 4 10°-40°

Model	10° (m)	20° (m)	30° (m)	40° (m)
Model	0.579	1.021	1.127	1.003
1	0.688	0.879	0.997	0.784
2	0.691	0.881	0.999	0.787
3	0.694	0.876	1.002	0.795
4	0.698	0.879	0.999	0.794
5	0.699	0.880	1.006	0.795
6	0.699	0.881	1.007	0.795

Tabel 14. Tabel Kondisi 4 50°-90°

50° (m)	60° (m)	70° (m)	80° (m)	90° (m)
0.584	-0.025	-0.691	-1.371	-2.028
0.208	-0.375	-0.994	-1.793	-2.311
0.210	-0.383	-1.002	-1.791	-2.308
0.214	-0.379	-0.999	-1.787	-2.306
0.217	-0.375	-0.994	-1.783	-2.301
0.217	-0.376	-0.998	-1.784	-2.303
0.218	-0.375	-0.994	-1.783	-2.301

Dari tabel tersebut diketahui bahwa model 1 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 0.997 m, model 2 memiliki nilai GZ maksimum sebesar

0.999 m, model 3 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 1.002 m, model 4 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 0.999 m, model 5 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 1.006 m, dan model 6 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 1.007 m.

Tabel 15. Tabel Kondisi 5 10°-40°

Model	10° (m)	20° (m)	30° (m)	40° (m)
Model	0.763	1.387	1.653	1.679
1	0.819	1.472	1.496	1.211
2	0.832	1.505	1.501	1.216
3	0.829	1.488	1.512	1.227
4	0.837	1.491	1.499	1.230
5	0.832	1.481	1.505	1.217
6	0.832	1.491	1.515	1.230

Tabel 16. Tabel Kondisi 5 50°-90°

50° (m)	60° (m)	70° (m)	80° (m)	90° (m)
1.409	0.895	0.290	-0.359	-1.020
0.811	0.315	-0.189	-0.721	-1.228
0.799	0.326	-0.202	-0.725	-1.216
0.808	0.323	-0.192	-0.713	-1.219
0.811	0.326	-0.189	-0.710	-1.217
0.801	0.316	-0.203	-0.720	-1.226
0.811	0.326	-0.189	-0.710	-1.216

Dari tabel tersebut diketahui bahwa model 1 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 1.496 m, model 2 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 1.501 m, model 3 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 1.512 m, model 4 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 1.499 m, model 5 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 1.505 m, dan model 6 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 1.515 m.

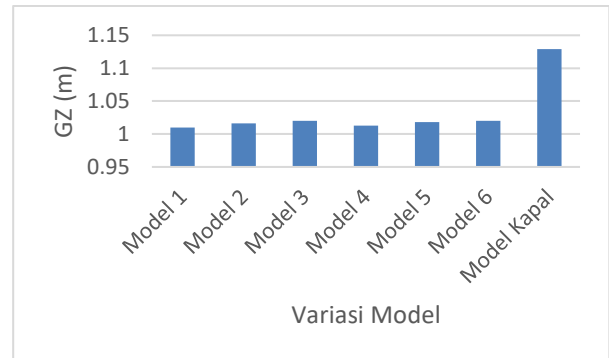
Tabel 17. Tabel Kondisi 6 10°-40°

Model	10° (m)	20° (m)	30° (m)	40° (m)
Model	0.729	1.299	1.599	1.471
1	0.791	1.408	1.442	1.105
2	0.778	1.421	1.445	1.108
3	0.787	1.418	1.451	1.107
4	0.791	1.410	1.444	1.105
5	0.783	1.416	1.449	1.102
6	0.787	1.420	1.453	1.107

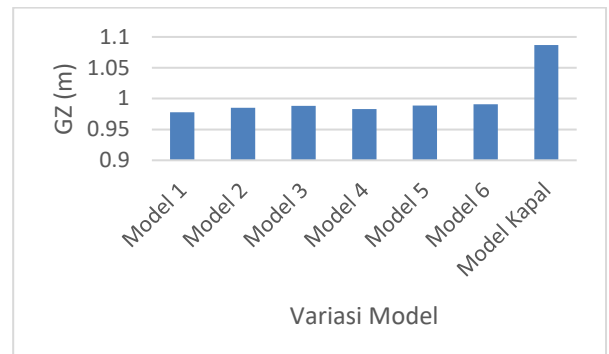
Tabel 18. Tabel Kondisi 6 50°-90°

50° (m)	60° (m)	70° (m)	80° (m)	90° (m)
1.220	0.669	-0.010	-0.719	-1.427
0.606	0.035	-0.578	-1.170	-1.747
0.601	0.031	-0.569	-1.169	-1.739
0.607	0.037	-0.578	-1.169	-1.745
0.606	0.035	-0.567	-1.170	-1.747
0.605	0.035	-0.565	-1.169	-1.743
0.609	0.039	-0.565	-1.169	-1.747

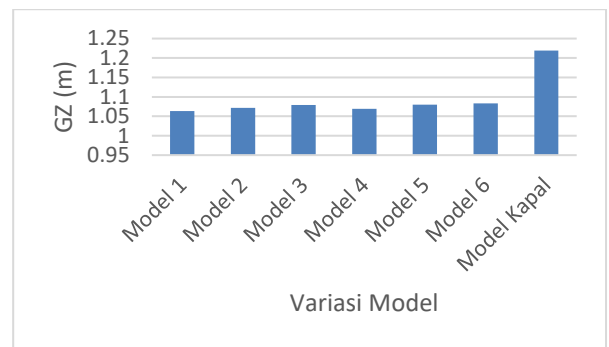
Dari tabel tersebut diketahui bahwa model 1 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 1.442 m, model 2 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 1.445 m, model 3 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 1.451 m, model 4 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 1.444 m, model 5 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 1.449 m, dan model 6 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 1.453 m.



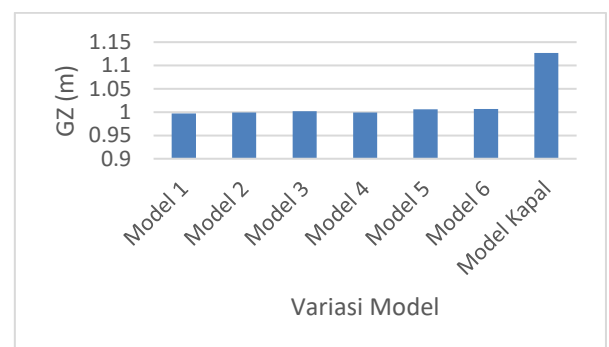
Gambar 21. Grafik GZ Maksimum Kondisi 1



Gambar 22. Grafik GZ Maksimum Kondisi 2

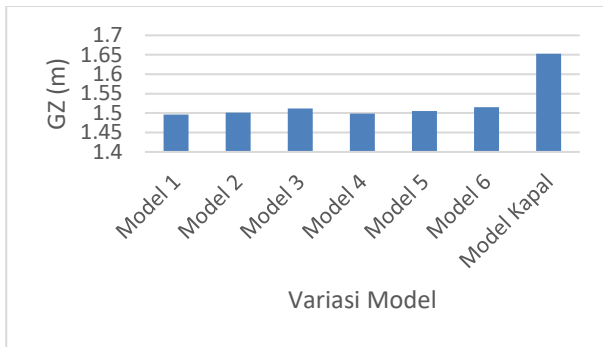


Gambar 23. Grafik GZ Maksimum Kondisi 3

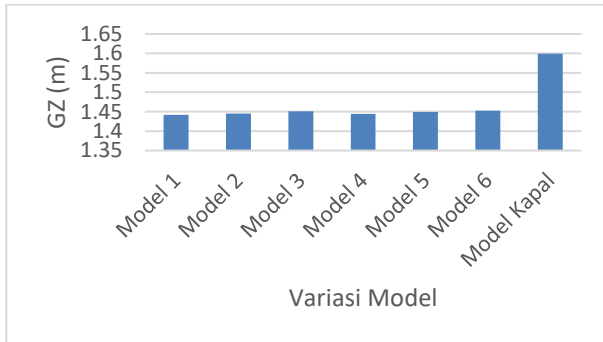


Gambar 24. Grafik GZ Maksimum Kondisi 4





Gambar 25. Grafik GZ Maksimum Kondisi 5



Gambar 26. Grafik GZ Maksimum Kondisi 6

Dari hasil analisa stabilitas didapatkan bahwa model 1 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 9.81% lebih kecil dibandingkan nilai GZ maksimum kapal asli, model 2 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 9.74% lebih kecil dibandingkan nilai GZ maksimum kapal asli, model 3 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 9.69% lebih kecil dibandingkan nilai GZ maksimum kapal asli, model 4 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 9.76% lebih kecil dibandingkan nilai GZ maksimum kapal asli, model 5 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 9.67% lebih kecil dibandingkan nilai GZ maksimum kapal asli, model 6 memiliki nilai GZ maksimum sebesar 9.62% lebih kecil dibandingkan nilai GZ maksimum kapal asli.

### 3.5. Evaluasi Kriteria Stabilitas

Berdasarkan regulasi, analisa stabilitas harus memenuhi standar kriteria IMO A.749(18) *Code on Intact Stability* dengan kriteria sebagai berikut [14]

Tabel 19. Standar Kriteria IMO A.749(18)  
*Code on Intact Stability*

	<i>Code</i>	<i>Criteria</i>	<i>Value</i>
1	A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30  shall not be less than (>=)	3.1513
2	A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40  shall not be less than (>=)	5.1566
3	A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40  shall not be less than (>=)	1.7189
4	A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater  shall not be less than (>=)	0.200
5	A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ  shall not be less than (>=)	25.0

Tabel 20. Kriteria Stabilitas Model 1-3

No	Criteria	Value	Model		
			1	2	3
1.	3.1.2.1: Area 0 to 30	$\geq 3.1513$	24.058	24.057	24.059
2.	3.1.2.1: Area 0 to 40	$\geq 5.1566$	33.969	33.967	33.973
3.	3.1.2.1: Area 30 to 40	$\geq 1.7189$	9.911	9.910	9.912
4.	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	$\geq 0.200$	1.019	1.019	1.019
5.	3.1.2.3: Angle of maximu m GZ	$\geq 25.0$	27.3	27.3	27.3
	<b>STATUS</b>		<b>PASS</b>	<b>PASS</b>	<b>PASS</b>

Tabel 21. Kriteria Stabilitas Model 4-6

No	Criteria	Value	Model		
			4	5	6
1.	3.1.2.1: Area 0 to 30	$\geq 3.1513$	24.073	24.084	24.065
2.	3.1.2.1: Area 0 to 40	$\geq 5.1566$	33.887	33.869	33.985
3.	3.1.2.1: Area 30 to 40	$\geq 1.7189$	9.865	9.785	9.922
4.	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	$\geq 0.200$	1.020	1.020	1.020
5.	3.1.2.3: Angle of maximu m GZ	$\geq 25.0$	27.3	27.3	27.3
	<b>STATUS</b>		<b>PASS</b>	<b>PASS</b>	<b>PASS</b>

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian mengenai “Analisis Pengaruh Penambahan *Fin Keel* terhadap Hambatan, Pola Aliran, dan Stabilitas pada Kapal *Ferry Ro-Ro* 1000 GT” maka didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu: 1) Dari hasil analisa hambatan didapatkan bahwa model 2 yaitu dengan tinggi *fin keel* 1 meter dan posisi dibelakang mempunyai hambatan total paling baik yakni sebesar 1.32% lebih kecil dibanding dengan hambatan total kapal asli. 2) Dari hasil analisa pola aliran mengenai kecepatan aliran yang masuk ke area *propeller* atau *Va* didapatkan bahwa model 2 yaitu dengan tinggi *fin keel* 1 meter dan posisi di belakang mempunyai

kecepatan yang paling baik yakni sebesar 0.7% lebih besar dibanding dengan kecepatan aliran kapal asli. 3) Dari hasil analisa stabilitas didapatkan bahwa model 1 yaitu *fin keel* dengan tinggi 1 meter posisi di *midship* memiliki nilai GZ maksimum yang paling kecil sehingga dianggap memiliki stabilitas yang paling baik dengan persentase 9.81% lebih kecil dibanding GZ maksimum kapal asli. 4) Semua model kapal telah memenuhi persyaratan (*pass*) standar kriteria IMO A.749(18) *Code on Intact Stability*. Berdasarkan kesimpulan tersebut didapatkan *fin keel* model 1 yaitu tinggi 1 meter posisi di *midship* merupakan model yang terbaik karena pengaruh paling optimal yaitu pada stabilitas dengan persentase 9.81%.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, *PM 115 Tahun 2016*. Jakarta, 2016.
- [2] A. Saputra, U. Budiarto, and G. Rindo, “Analisa Pengaruh Bilge Keel Tipe Bulb Terhadap Lambung V Dan U Pada Kapal Patroli Dengan Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamic (CFD),” *Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 2, pp. 421–430, 2017.
- [3] D. M. Sihombing, W. Amiruddin, and M. Iqbal, “Analisa Performa Penambahan Hull Vane Terhadap Hambatan dan Seakeeping Kapal Perintis 750 DWT dengan Variasi Foil Menggunakan Metode CFD,” *Tek. Perkapalan*, vol. 7, no. 2, pp. 152–160, 2019.
- [4] M. L. Yulianti, I. P. Mulyatno, and A. W. B. Santosa, “Analisa Stabilitas Kapal Perintis 500 Dwt Setelah Penambahan Variasi Posisi Sudut Dan Lebar Bilga Keel,” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 4, pp. 726–733, 2017.
- [5] A. Situmorang, P. Manik, and M. Iqbal, “Analisa Pengaruh Panjang dan Bentuk Geometri Lunas Bilga terhadap Arah dan Kecepatan Aliran (Wake) pada Kapal Ikan Tradisional (Studi Kasus Kapal Ikan Kranggan),” vol. 4, no. 4, pp. 793–802.
- [6] A. Herbowo, D. Chrismianto, and M. Iqbal, “Analisa Fin Stabilizer Terhadap Rolling Pada Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT Dengan Metode CFD (Computational Fluid Dynamic),” *Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 2, pp. 421–430, 2017.
- [7] P. Lans and J. Heide, “CFD investigation of a fin keel,” *Bachelor Sci. Thesis, KTH R. Inst. Technol.*, 2014.
- [8] S. A. Harvald, *Resistance and Propulsion of*

*Ships - Harvald*. New York: John Willey and Sons, 1992.

- [9] S. Samuel, A. Trimulyono, and A. W. B. Santosa, "Simulasi CFD pada Kapal Planing Hull," *Kapal J. Ilmu Pengetah. dan Teknol. Kelaut.*, vol. 16, no. 3, pp. 123–128, 2019, doi: 10.14710/kapal.v16i3.26397.
- [10] M. R. D. A. Kusuma, D. Chrismianto, and S. Jokosiworo, "Pengaruh Posisi Foil Terhadap Gaya Angkat Dan Hambatan Kapal Katamaran," *Kapal*, vol. 14, no. 2, p. 58, 2017, doi: 10.14710/kpl.v14i2.16487.
- [11] B. R. Munson and T. H. Okiishi, *Mekanika Fluida Edisi Keempat. Diterjemahkan oleh Harinaldi dan Budiarmo*. Jakarta: Erlangga, 2003.
- [12] L. Edward, *PNA - Volume II - Resistance, Propulsion and Vibration*, vol. II. 1988.
- [13] S. Samuel and Kiryanto, "Analisa Hidrostatik dan Stabilitas pada Kapal Motor Cakalang dengan Modifikasi Penambahan Kapal Pancing," vol. 11, no. 2, 2014.
- [14] IMO, "Code on intact stability for all type of ships covered by IMO instruments," *Resolut. A749(18)*, vol. 267, no. December, 2008.