

ANALISIS TEKNIS PENAMBAHAN LUBANG PADA BAGIAN SKEG KAPAL TUGBOAT SERTA PENGARUHNYA TERHADAP ALIRAN DAN HAMBATAN MENGGUNAKAN METODE COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

David Prayogo^{1,*}, Abdul Rohman¹, Jangka Rulianto¹, Khairul Muzaka¹, I Gusti Ngurah Bagus Catrawedarma¹

¹ Program Studi Teknik Manufaktur Kapal, Politeknik Negeri Banyuwangi

*Corresponding author: davidpray21@gmail.com

Article history

Received:

07-08-2025

Accepted:

14-12-2025

Published:

30-12-2025

Copyright © 2025
Jurnal Teknologi dan
Riset Terapan

Open Access

Abstrak

Kapal *tugboat* berperan penting dalam mendukung keselamatan dan efisiensi operasional pelabuhan serta kegiatan lepas pantai. Salah satu komponen penting dalam desain *tugboat* adalah *skeg*, yang berfungsi meningkatkan stabilitas arah dan mengurangi efek *yawing*. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh jumlah lubang pada *skeg* terhadap karakteristik aliran dan hambatan kapal *tugboat*. Tiga variasi bentuk *skeg* diuji, yaitu *skeg* tanpa lubang, *skeg* dengan 2 lubang, dan *skeg* dengan 4 lubang, pada dua kondisi kecepatan, yaitu 10 knot dan 15 knot. Parameter yang diamati meliputi luas permukaan basah (*wetted surface area*), hambatan (*drag*), dan kecepatan aliran longitudinal (*velocity u*). Hasil simulasi menunjukkan bahwa model *skeg* tanpa lubang menghasilkan nilai hambatan paling rendah, yaitu 22.570 N pada 10 knot dan 138.430 N pada 15 knot, serta pola aliran yang lebih stabil dan *streamline*. Sebaliknya, penambahan lubang pada *skeg* menyebabkan peningkatan hambatan dan gangguan aliran berupa *vortex* serta separasi fluida. Dengan demikian, *skeg* tanpa lubang dinilai lebih optimal secara hidrodinamika untuk meningkatkan efisiensi operasional kapal *tugboat*.

Kata Kunci: *Tugboat, Skeg, Aliran Fluida, Hambatan Hidrodinamika, CFD*

Abstract

Tugboats play a crucial role in supporting the safety and operational efficiency of ports and offshore activities. One of the key components in tugboat design is the skeg, which serves to enhance directional stability and reduce yawing effects. This study aims to analyze the influence of the number of holes in the skeg on the flow characteristics and resistance of a tugboat. Three skeg variations were tested: a skeg without holes, a skeg with two holes, and a skeg with four holes, under two speed conditions, namely 10 knots and 15 knots. The observed parameters include wetted surface area, drag force, and longitudinal flow velocity (velocity u). The simulation results indicate that the skeg without holes produced the lowest drag values, at 22.570 N at 10 knots and 138.430 N at 15 knots, along with a more stable and streamlined flow pattern. In contrast, adding holes to the skeg resulted in increased drag and flow disturbances in the form of vortices and fluid separation. Therefore, the skeg without holes is considered more hydro dynamically optimal for improving the operational efficiency of tugboats.

Keywords: *Tugboat, Skeg, Fluid Flow, Hydrodynamic Drag, CFD*

1.0 PENDAHULUAN

Di sektor maritim, kapal besar seperti kapal kargo, tanker, dan kapal pesiar sering mengalami kesulitan dalam bermanuver secara mandiri, terutama saat keluar atau masuk pelabuhan, melewati perairan sempit, atau

menghadapi cuaca ekstrem. Untuk mengatasi tantangan ini, diperlukan kapal berukuran kecil namun bertenaga besar yang berfungsi membantu pergerakan kapal-kapal tersebut, yaitu kapal *tugboat*. Seiring perkembangan teknologi, kapal *tugboat* kini dilengkapi dengan mesin diesel berkekuatan tinggi, sistem kendali canggih, serta

berbagai fitur tambahan seperti pemadam kebakaran, pemecah es, dan kemampuan penyelamatan kapal[1].

Kapal *tugboat* dirancang untuk memiliki kemampuan manuver yang tinggi serta kemampuan mendorong dan menarik kapal besar dalam berbagai kondisi perairan. Salah satu elemen penting dalam desain *tugboat* yang berkontribusi pada stabilitas dan kinerjanya adalah *skeg*. *Skeg* adalah struktur berbentuk sirip atau lunas yang terletak di bagian bawah lambung kapal, biasanya di dekat buritan, yang berfungsi untuk meningkatkan ketebalan, kontrol arah, serta daya dorong kapal saat bermanuver[2]. Dalam operasionalnya, *tugboat* sering menghadapi kondisi arus kuat, ombak tinggi, dan tugas-tugas berat seperti menarik kapal tanker, kapal tongkang, atau membantu kapal besar merapat di pelabuhan.

Jika *skeg* tidak dirancang dengan baik, kapal bisa mengalami masalah keseimbangan, kehilangan kendali, atau bahkan mengalami efek *yawing* (berayun ke samping secara tidak terkendali). Karena hal tersebut, desain dan posisi *skeg* sangat berpengaruh terhadap performa dan efisiensi kapal *tugboat* dalam menjalankan tugasnya[3].

Penelitian terdahulu tentang studi variasi model *skeg* berdasarkan tahanan dan pola aliran yang melewati lambung barge yang memiliki penggerak sendiri menunjukkan bahwa simulasi pada kondisi 2 yang mempunyai *surface area* sebesar 30.59 m^2 memiliki hambatan dan pola aliran yang paling optimal[4]. Pada penelitian lainnya tentang pengaruh penambahan panjang *skeg* yang menunjukkan bahwa semakin besar luas dan panjang *skeg* maka akan semakin besar luas permukaan basah kapal (*wetted surface area*) sehingga mengakibatkan hambatan semakin besar dan penambahan luas *skeg* berpengaruh terhadap nilai *wake fraction*, maka semakin besar luas *skeg* nilai *wake fraction* semakin kecil[5].

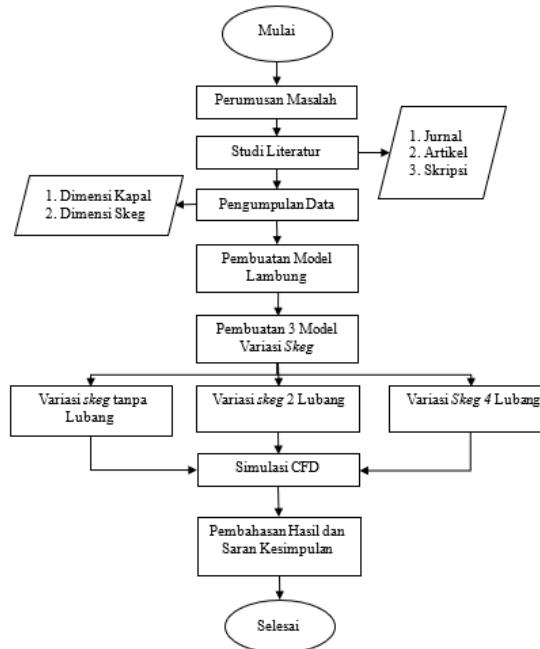
Beberapa contoh lain pada penelitian sebelumnya dengan memvariasikan bentuk buritannya dalam 2 konfigurasi. Konfigurasi pertama kapal tidak akan diberi *skeg* dan yang kedua *skeg* akan diberi sebanyak 1 buah dan ditempatkan *centerline*. Dari penelitian yang dilakukan maka dengan penambahan *skeg* memberi efek *roll damping* pada kapal. Hal tersebut terindikasi dari grafik RAO yang luasnya semakin kecil. Efek *damping* terbesar terjadi pada sudut gelombang 90° pada setiap kecepatan yaitu sebesar 7,2%. Pada sudut gelombang 135° dan 45° sebesar 5%, sedangkan untuk hambatan bertambah sebesar 2-3%[6].

Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada variasi desain *skeg* yang berbeda. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang menganalisis pengaruh penambahan panjang *skeg*[7]. Pada penelitian ini difokuskan pada pengaruh penambahan lubang pada bagian *skeg* dengan membagi 3 variasi *skeg*, yaitu pada variasi yang pertama *skeg* tanpa lubang, variasi kedua *skeg* dengan 2 lubang, dan variasi ketiga *skeg* dengan 4 lubang. Penambahan lubang pada *skeg* dilakukan untuk mengurangi luas permukaan basah (*wetted surface area*) sehingga diharapkan dapat menurunkan hambatan, memperbaiki pola aliran, serta mengurangi terbentuknya pusaran (*vortex*). Dengan demikian, variasi jumlah lubang dapat memberikan gambaran pengaruhnya terhadap performa hidrodinamika kapal *tugboat*. Masing-masing variasi

lubang berdiameter 30 cm. Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak penambahan lubang pada bagian *skeg* terhadap hambatan dan aliran guna menentukan desain yang paling sesuai untuk diaplikasikan pada kapal *tugboat*.

2.0 METODE

Dalam proses penelitian ini diperlukan alur proses agar mudah memahami dan diikuti prosesnya secara menyeluruh. Diagram alir pada penelitian ini terdapat pada Gambar 1.



Gambar 1: Diagram Alir Penelitian

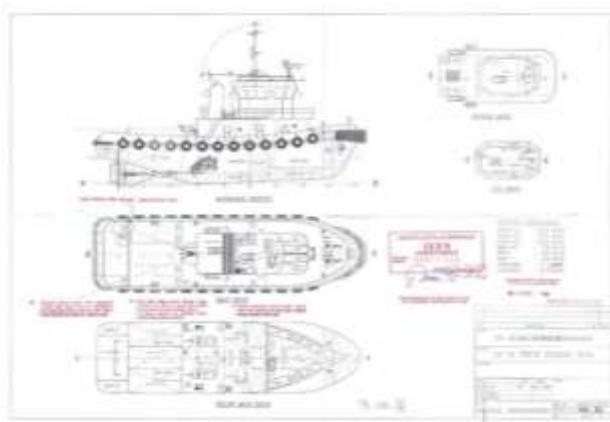
2.1. Data Utama Kapal

Pengumpulan data dalam penelitian ini bertujuan untuk memperoleh data pendukung yang berkaitan dengan permasalahan yang dikaji, yang selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam analisis lebih lanjut. Data yang dibutuhkan meliputi ukuran utama kapal (*principal particulars*), gambar rencana umum (*general arrangement*), serta detail dimensi *skeg*.

Dalam pembuatan model lambung kapal, diperlukan data utama kapal yang mencakup panjang, tinggi, dan parameter geometris lainnya. Data tersebut digunakan sebagai dasar dalam perancangan dan analisis model kapal. Pada tahap perhitungan menggunakan perangkat lunak *Computational Fluid Dynamics* (CFD), model kapal diskalakan pada ukuran tertentu untuk memudahkan proses simulasi[8]. Skala model yang digunakan dalam simulasi CFD adalah 1:10. Data utama kapal disajikan pada Tabel 1, sedangkan gambar rencana umum ditunjukkan pada Gambar 2.

Tabel 1: Data Utama Kapal

Parameter	Nilai	Skala	Satuan
Panjang Keseluruhan (L.O.A)	25.00	2.5	Meter
Panjang Garis Air (L.W.L)	23.72	-	Meter
L.B.P	22.02	-	Meter
Lebar (B)	7.00	0.7	Meter
Tinggi (H)	3.60	0.36	Meter
Sarat (T)	2.60	0.26	Meter
GRT	158	-	Ton
V _s	10	3,24	Knot
PROPELLSION	2 X 818	-	PS



Gambar 2: Gambar Rencana Umum

Skala *principal dimension* tidak berlaku untuk semua besaran. Untuk menghitung besaran yang lain maka kita menggunakan rumus perbandingan faktor skala berdasarkan hukum *froude* yaitu *geometric*, *kinematic* dan *dynamic*[9]. Pada Tabel 2 menunjukkan faktor skala masing-masing besaran.

Tabel 2: Faktor Skala Besaran

No.	Kuantitas	Symbol		Faktor Skala
		Model	Prototype	
A. Geometrik				
1.	Panjang	<i>L_m</i>	<i>l_p</i>	$(l_p/l_m) = n$
2.	Luasan	<i>A_m</i>	<i>A_p</i>	$(A_p/A_m) = n^2$
3.	Volume	<i>V_m</i>	<i>V_p</i>	$(V_p/V_m) = n^3$
B. Kinematic				
1.	Kecepatan	<i>v_m</i>	<i>V_p</i>	$(v_p/v_m) = n^{0.5}$
C. Dynamic				
1.	Masa	<i>M_m</i>	<i>M_p</i>	$(M_p/M_m) = n^3$
2.	Gaya	<i>F_m</i>	<i>F_p</i>	$(F_p/F_m) = n^3$

2.2. Hambatan dan Aliran Fluida

Hambatan kapal merupakan gaya yang ditimbulkan oleh media fluida ketika kapal bergerak dengan kecepatan tertentu. Besarnya hambatan total kapal merupakan akumulasi dari berbagai komponen gaya hambat yang bekerja, antara lain tahanan gesek, tahanan gelombang,

tahanan *appendages*, tahanan udara, serta komponen lainnya yang dipengaruhi oleh bentuk lambung dan kondisi operasi kapal. Hambatan ini memiliki peranan penting dalam menentukan kebutuhan daya mesin serta efisiensi operasional kapal secara keseluruhan.

Secara umum, tahanan total kapal dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$R_t = C_t (\frac{1}{2} \times \rho \times V_s^2 \times S) \quad (1)$$

di mana R_t adalah tahanan total kapal, C_t merupakan koefisien tahanan total, ρ adalah massa jenis air laut sebesar 1,025 ton/m³, V_s adalah kecepatan dinas kapal (m/s), dan S adalah luas permukaan basah kapal (*wetted surface area*). Persamaan (1) menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan kapal akan menyebabkan kenaikan tahanan secara kuadratik, sehingga analisis hambatan menjadi aspek penting dalam perancangan kapal yang efisien.

Aliran fluida di sekitar lambung kapal dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu aliran laminar, transisi, dan turbulen. Aliran laminar ditandai oleh gerakan fluida yang teratur dan sejajar tanpa pencampuran antar lapisan, umumnya terjadi pada bilangan Reynolds di bawah 2.000. Aliran transisi merupakan tahap peralihan antara laminar dan turbulen yang terjadi pada bilangan Reynolds antara 2.000 hingga 4.000 dan sangat peka terhadap gangguan. Sementara itu, aliran turbulen terjadi pada bilangan Reynolds di atas 4.000, ditandai oleh pola aliran yang acak, terbentuknya pusaran, serta peningkatan gaya gesek dan konsumsi energi. Pemahaman karakteristik aliran ini sangat penting dalam analisis hidrodinamika karena berpengaruh langsung terhadap besarnya hambatan kapal.

2.3. Bilangan Froude dan Desain Skeg

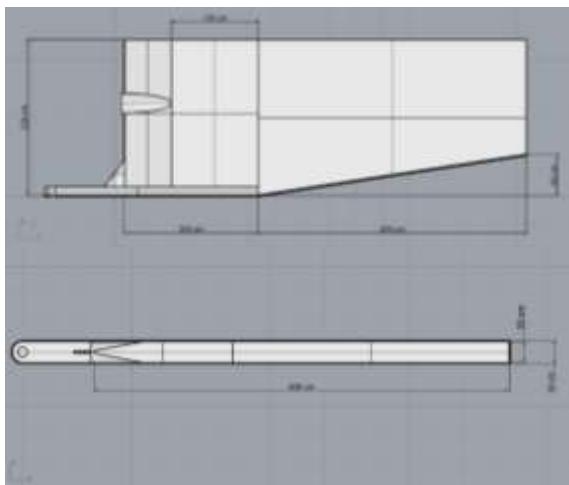
Bilangan *Froude* (*Froude Number*) merupakan parameter tak berdimensi yang digunakan untuk menganalisis karakteristik aliran dan resistensi benda yang bergerak di permukaan air, khususnya dalam kajian hidrodinamika kapal. Bilangan ini menyatakan perbandingan antara gaya inersia dan gaya gravitasi, serta digunakan untuk membandingkan perilaku hidrodinamika kapal dengan ukuran yang berbeda pada kondisi kesebangunan dinamis. Persamaan bilangan *Froude* dinyatakan sebagai berikut:

$$Fr = v / \sqrt(g \times L) \quad (2)$$

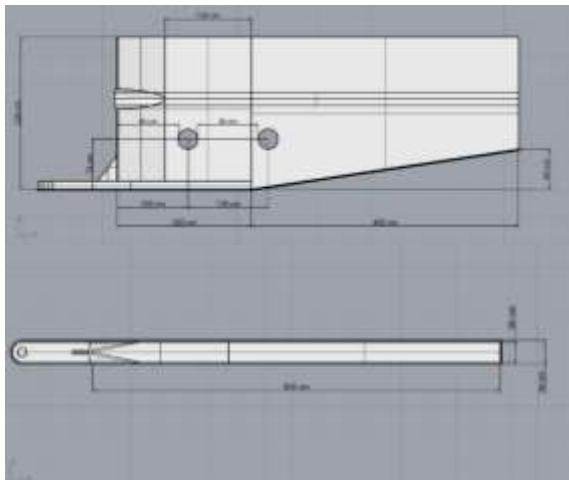
di mana Fr adalah bilangan *Froude* (tanpa satuan), v merupakan kecepatan kapal atau kecepatan aliran (m/s), g adalah percepatan gravitasi sebesar 9,81 m/s², dan L menyatakan panjang karakteristik kapal (m). Dalam penelitian ini, bilangan *Froude* digunakan sebagai parameter utama untuk menentukan kondisi operasi kapal dan sebagai dasar dalam analisis kesebangunan antara model dan prototipe pada simulasi CFD.

Desain *skeg* pada penelitian ini dimodelkan menggunakan perangkat lunak *Rhinoceros* untuk memudahkan proses perancangan dan pembuatan variasi geometri. Pemodelan *skeg* dilakukan dalam tiga variasi, yaitu *skeg* tanpa lubang, *skeg* dengan dua lubang, dan

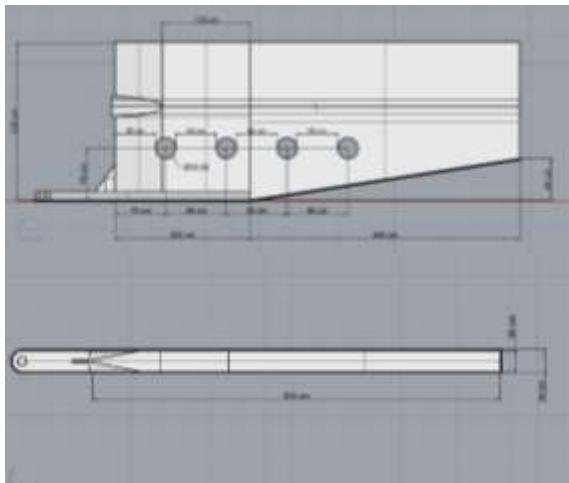
skeg dengan empat lubang. Variasi ini dirancang untuk menganalisis pengaruh perubahan geometri *skeg* terhadap karakteristik aliran dan hambatan kapal. Visualisasi masing-masing variasi *skeg* serta detail dimensinya ditunjukkan pada Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5.



Gambar 3: Variasi *Skeg* Tanpa Lubang



Gambar 4: Variasi *Skeg* Dengan 2 Lubang



Gambar 5: Variasi *Skeg* Dengan 4 Lubang

2.4. Metodologi Simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD)

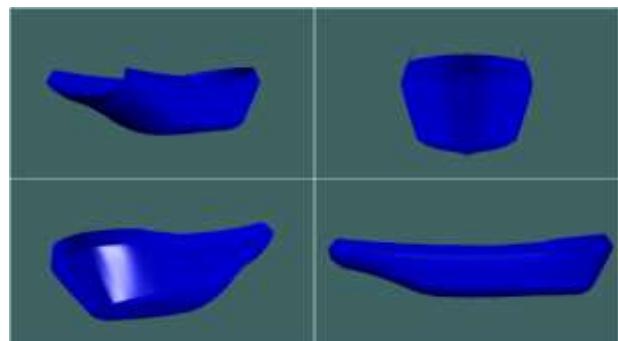
Simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dalam penelitian ini dilakukan melalui tiga tahapan utama, yaitu *pre-processing*, *processing* (*solving*), dan *post-processing*, yang merupakan alur kerja terintegrasi dalam simulasi numerik aliran fluida[10]. Tahap *pre-processing* mencakup pembuatan geometri model kapal dengan variasi *skeg* menggunakan perangkat lunak Rhinoceros dalam skala 1:10, pendefinisian domain komputasi, serta pembuatan *mesh*. Proses *meshing* dilakukan secara bertahap melalui pembentukan *initial mesh*, penyesuaian terhadap geometri (*adapt* dan *snap to geometry*), optimasi kualitas elemen *mesh*, serta pengaturan lapisan viskos (*viscous layers*) di dekat permukaan kapal. Evaluasi kualitas *mesh* dilakukan untuk memastikan kestabilan dan akurasi perhitungan numerik, dengan model yang digunakan hanya mencakup lambung dan *skeg* tanpa *propeller* sesuai dengan ruang lingkup penelitian.

Tahap *processing* dilakukan dengan menyelesaikan persamaan aliran fluida secara numerik menggunakan metode iteratif hingga mencapai kondisi konvergen. Pada tahap ini ditetapkan model fluida dua fase (air dan udara), karakteristik aliran, kondisi batas, serta gerakan badan kapal dengan kecepatan konstan pada arah longitudinal. Selanjutnya, tahap *post-processing* digunakan untuk menganalisis dan memvisualisasikan hasil simulasi melalui pemantauan *residual* dan gaya hidrodinamika, serta penyajian kontur, vektor aliran, dan streamlines. Hasil analisis ini digunakan untuk mengevaluasi pola aliran dan karakteristik hambatan kapal akibat variasi desain *skeg*.

3.0 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Desain Model Lambung

Pembuatan model kapal *tugboat* dalam penelitian ini dilakukan setelah diperoleh data ukuran utama kapal dan gambar general *arrangement*. Berdasarkan data tersebut, pemodelan lambung kapal dilakukan menggunakan perangkat lunak Maxsurf Modeler sesuai dengan spesifikasi geometris yang tersedia. Hasil pemodelan lambung kapal beserta parameter hidrostatik kapal *tugboat* ditampilkan pada Gambar 6 dan Tabel 3.

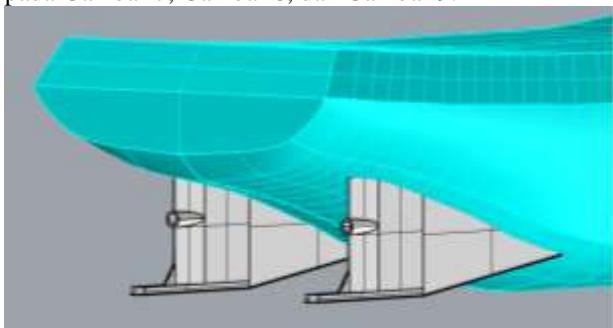


Gambar 6: Model Lambung Kapal

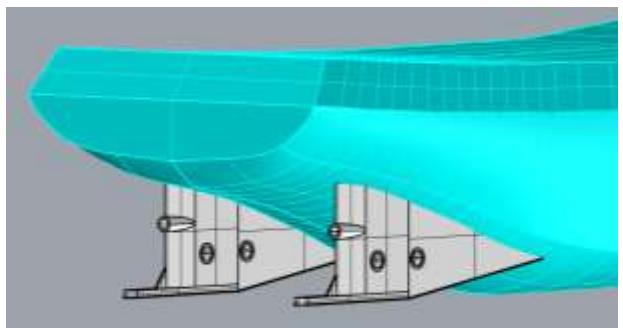
Tabel 3: Data Hidrostatic Calculate

No	Measurement	Value	Units
1.	Displacement	217,2	T
2.	Volume (displaced)	211944554,84	cm ³
3.	Draft Amidships	260,00	cm
4.	Immersed depth	260,00	cm
5.	WL Length	2350,55	cm
6.	Beam max extents on WL	662,58	cm
7.	Wetted Area	1838481,91	cm ²
8.	Max sect. area	137719,70	cm ²
9.	Waterpl. Area	1332610,14	cm ²
10.	Prismatic coeff. (Cp)	0,655	
11.	Block coeff. (Cb)	0,523	
12.	Max Sect. area coeff	0,799	
13.	Waterpl. Area coeff.	0,856	
14.	LCB length	1016,00	from zero pt. (+ve fwd) cm
15.	LCF length	890,44	from zero pt. (+ve fwd) cm
16.	LCB %	43,224	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
17.	LCF %	37,882	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
18.	KB	160,89	Cm
19.	KG fluid	0,00	Cm
20.	BMt	194,21	Cm
21.	BML	2314,04	Cm
22.	GMT corrected	355,10	Cm
23.	GML	2474,93	Cm
24.	KMt	355,10	Cm
25.	KML	2474,93	Cm
26.	Immersion (TPc)	1,366	tonne/cm
27.	MTc	2,442	tonne.m
28.	RM at 1deg =GMt.Di	1346,35	tonne.cm
29.	Length:Beam ratio	3,548	
30.	Beam:Draft ratio	2,548	
31.	Length:Vol^0.333 ratio	3,942	
32.	Precision	Medium	69 stations

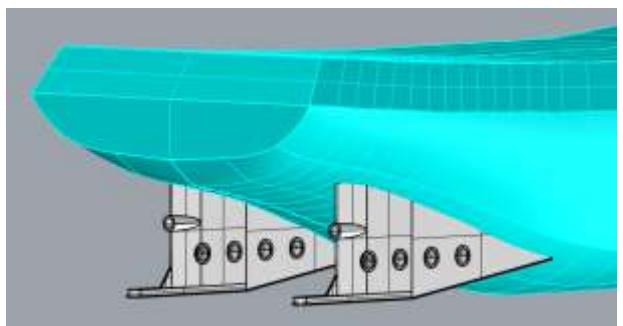
Tahap pembuatan skeg dalam penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak Rhinoceros untuk memudahkan perancangan bentuk skeg. Pada penelitian ini, desain skeg divariasikan menjadi tiga konfigurasi. Visualisasi dari masing-masing variasi skeg ditunjukkan pada Gambar 7, Gambar 8, dan Gambar 9.



Gambar 7: Skeg Tanpa Lubang



Gambar 8: Skeg Dengan 2 Lubang



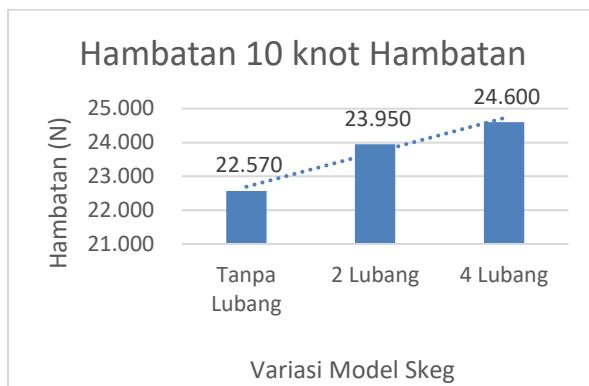
Gambar 9: Skeg Dengan 4 Lubang

3.2. Analisis Hasil Simulasi CFD Variasi Skeg

Setelah seluruh proses simulasi CFD selesai dilakukan, grafik hasil dan data numerik dianalisis untuk masing-masing model variasi skeg yang diuji. Data yang diperoleh meliputi gaya hambat (*drag force*) serta distribusi kecepatan aliran fluida (*velocity u*) yang menunjukkan perbedaan karakteristik aliran. Analisis dilakukan dengan membandingkan hasil simulasional kecepatan standar 10 knot dan kecepatan maksimum 15 knot, dengan mempertimbangkan variabel-variabel terkait, sehingga pengaruh perubahan bentuk skeg terhadap karakteristik aliran dan hambatan kapal dapat dievaluasi secara komprehensif[11]. Untuk memberikan pemahaman yang lebih rinci, hasil disajikan secara bertahap berdasarkan variasi skeg dan kondisi kecepatan, di mana hasil hambatan pada kecepatan 10 knot ditampilkan pada Tabel 4 dan Gambar 10.

Tabel 4: Hambatan Pada 10 Knot

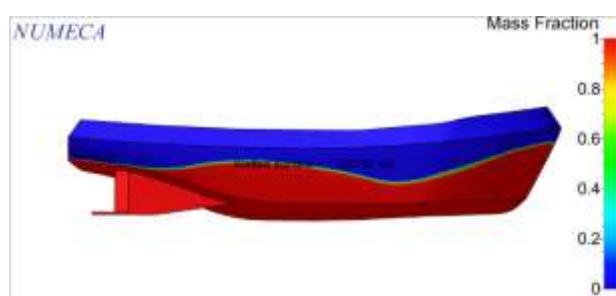
Hambatan 10 Knot	
Variasi	Hambatan
Skeg Tanpa Lubang	22.570 N
Skeg 2 Lubang	23.950 N
Skeg 4 Lubang	24.600 N



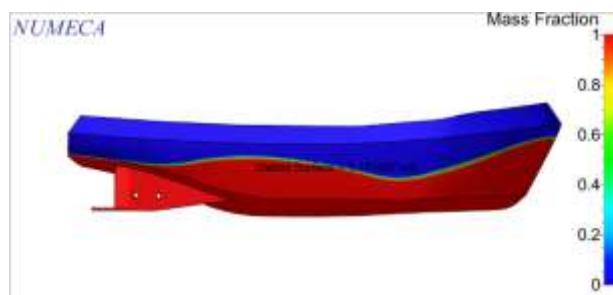
Gambar 10: Hambatan Total Pada 10 Knot

Gambar 10 menyajikan grafik perbandingan nilai hambatan yang terjadi pada berbagai variasi model *skeg*, yaitu *skeg* tanpa lubang, *skeg* dengan dua lubang, dan *skeg* dengan empat lubang, pada kecepatan 10 knot. Nilai hambatan terendah diperoleh pada model *skeg* tanpa lubang sebesar 22.570 N. Selanjutnya, nilai hambatan meningkat pada model *skeg* dengan dua lubang sebesar 23.950 N dan mencapai nilai tertinggi pada model *skeg* dengan empat lubang sebesar 24.600 N. Peningkatan jumlah lubang pada *skeg* justru menyebabkan bertambahnya hambatan, yang menunjukkan bahwa modifikasi berupa penambahan lubang tidak efektif dalam mengurangi hambatan pada kecepatan rendah. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa perubahan geometri *skeg* secara umum memengaruhi nilai hambatan[12] variasi desain *skeg* dapat meningkatkan hambatan[13], dan dalam kondisi tertentu penambahan *skeg* justru memperbesar tahanan total kapal[14].

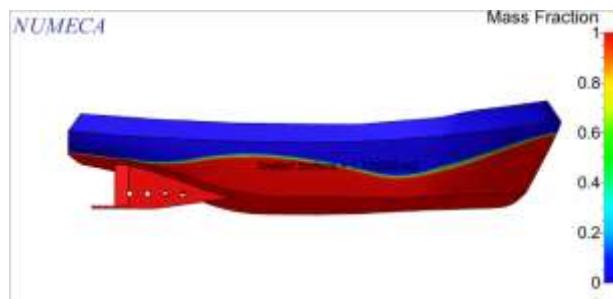
Gambar 11, Gambar 12, dan Gambar 13 menunjukkan nilai *wetted surface area* (WSA) pada berbagai variasi bentuk *skeg* dan kecepatan kapal. Pada kecepatan 10 knot, model *skeg* tanpa lubang memiliki WSA sebesar 2.335 m², yang kemudian meningkat menjadi 2.342 m² pada model *skeg* dengan dua lubang dan mencapai 2.350 m² pada model *skeg* dengan empat lubang. Peningkatan nilai WSA ini menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah lubang pada *skeg*, luas permukaan basah kapal cenderung bertambah, yang berkontribusi terhadap peningkatan hambatan gesek..



Gambar 11: WSA Model Skeg Tanpa Lubang 10 Knot



Gambar 12: WSA Model Skeg 2 Lubang 10 Knot

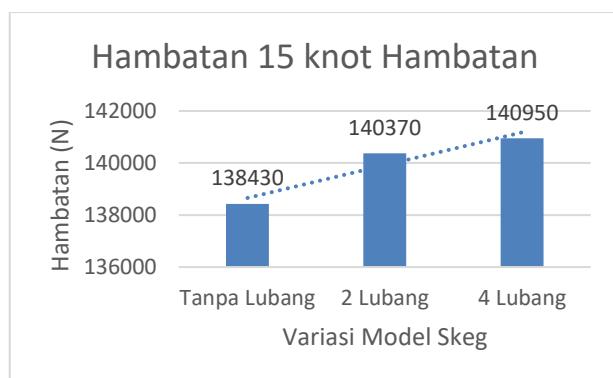


Gambar 13: WSA Model Skeg 4 Lubang 10 Knot

Pada kecepatan 15 knot, pengujian dari ketiga variasi didapatkan hasil nilai hambatan. Hasil nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 14.

Tabel 5: Hambatan Pada 15 Knot

Hambatan 15 Knot	
Variasi	Hambatan
Skeg Tanpa Lubang	138.430 N
Skeg 2 Lubang	140.370 N
Skeg 4 Lubang	140.950 N

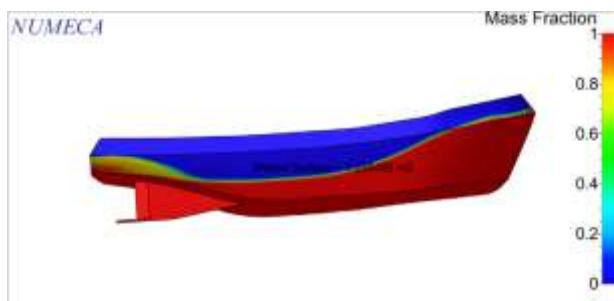


Gambar 14: Hambatan Total Pada 15 Knot

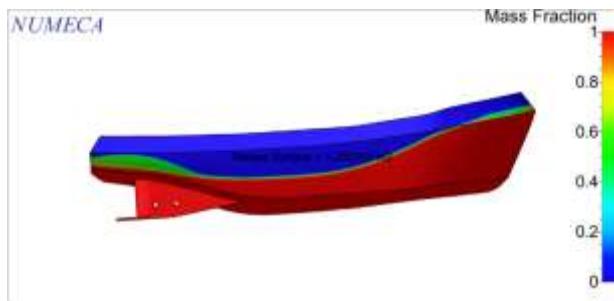
Gambar 14 menyajikan grafik perbandingan nilai hambatan pada berbagai variasi model *skeg*, yaitu *skeg* tanpa lubang, *skeg* dengan dua lubang, dan *skeg* dengan empat lubang, pada kecepatan 15 knot. Nilai hambatan terendah diperoleh pada model *skeg* tanpa lubang sebesar 138.430 N, kemudian meningkat menjadi 140.370 N pada model *skeg* dengan dua lubang, dan mencapai nilai tertinggi pada model *skeg* dengan empat lubang sebesar 140.950 N. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan kapal menyebabkan kenaikan hambatan yang signifikan pada seluruh variasi *skeg*[15]. Namun demikian, model *skeg* tanpa lubang secara konsisten menghasilkan nilai hambatan paling rendah dibandingkan

variasi lainnya. Temuan ini mengindikasikan bahwa penambahan lubang pada *skeg* tidak memberikan keuntungan hidrodinamis, bahkan cenderung meningkatkan resistansi total kapal, baik pada kondisi kecepatan rendah maupun tinggi.

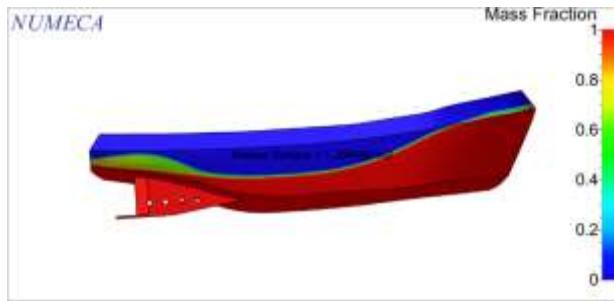
Gambar 15, Gambar 16, dan Gambar 17 menampilkan nilai *wetted surface area* (WSA) pada berbagai variasi bentuk *skeg* pada kecepatan 15 knot. Pada kecepatan ini terjadi peningkatan nilai WSA secara signifikan, dengan model *skeg* tanpa lubang sebesar 2,590 m². Nilai WSA kemudian sedikit menurun pada model *skeg* dengan dua lubang sebesar 2,584 m² dan relatif meningkat kembali pada model *skeg* dengan empat lubang sebesar 2,588 m². Hasil ini menunjukkan bahwa kecepatan kapal memiliki pengaruh dominan terhadap perubahan WSA, sementara variasi jumlah lubang pada *skeg* tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap luas permukaan basah pada kecepatan tinggi.



Gambar 15: WSA Model *Skeg* Tanpa Lubang 15 Knot



Gambar 16: WSA Model *Skeg* 2 Lubang 15 Knot

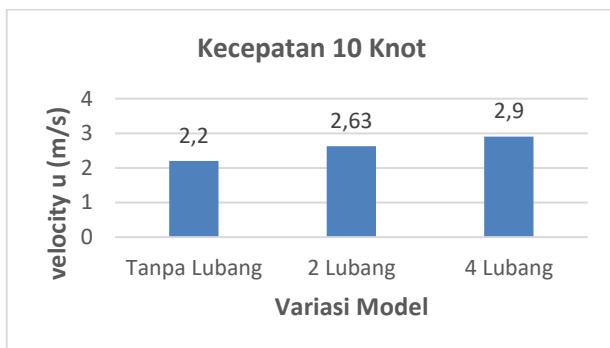


Gambar 17: WSA Model *Skeg* 4 Lubang 15 Knot

Pada kecepatan 10 knot, pengujian dari ketiga variasi didapatkan hasil nilai *velocity u*. Hasil nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 6 dan Gambar 18.

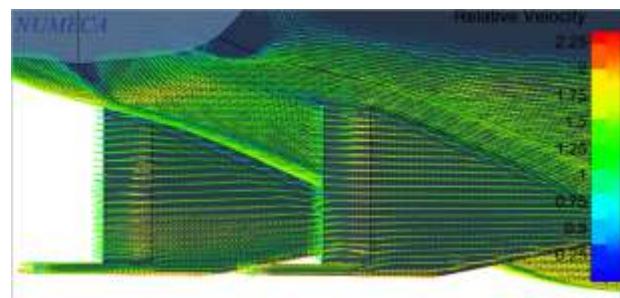
Tabel 6: *Velocity u* pada 10 Knot

<i>Velocity u</i> 10 Knot	
Variasi	Nilai
<i>Skeg</i> Tanpa Lubang	2.95 m/s
<i>Skeg</i> 2 Lubang	2.83 m/s
<i>Skeg</i> 4 Lubang	2.92 m/s

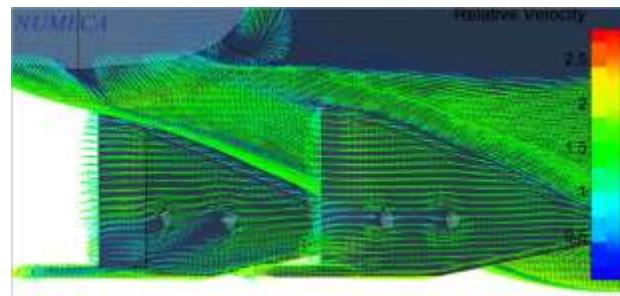


Gambar 18: *Velocity U* Pada 10 Knot

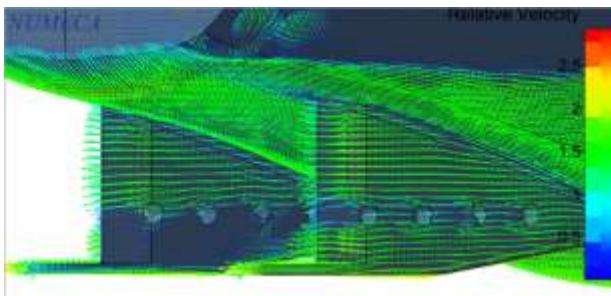
Gambar 18 menampilkan grafik perbandingan nilai *velocity u* pada masing-masing variasi bentuk *skeg* kapal *tugboat* pada kecepatan 10 knot. Model *skeg* tanpa lubang menunjukkan nilai *velocity u* tertinggi, yaitu sebesar 2,95 m/s, diikuti oleh model *skeg* dengan empat lubang sebesar 2,92 m/s. Nilai *velocity u* terendah diperoleh pada variasi *skeg* dengan dua lubang, yaitu sebesar 2,83 m/s. Hasil ini mengindikasikan bahwa pada kecepatan rendah, konfigurasi *skeg* tanpa lubang cenderung menghasilkan aliran longitudinal yang lebih stabil dan memiliki kecepatan aliran yang lebih tinggi dibandingkan variasi lainnya[16]. Untuk memperjelas karakteristik dan pola aliran fluida di sekitar *skeg*, visualisasi aliran ditampilkan pada Gambar 19, Gambar 20, dan Gambar 21.



Gambar 19: Pola Aliran *Skeg* Tanpa Lubang 10 Knot



Gambar 20: Pola Aliran *Skeg* 2 Lubang 10 Knot

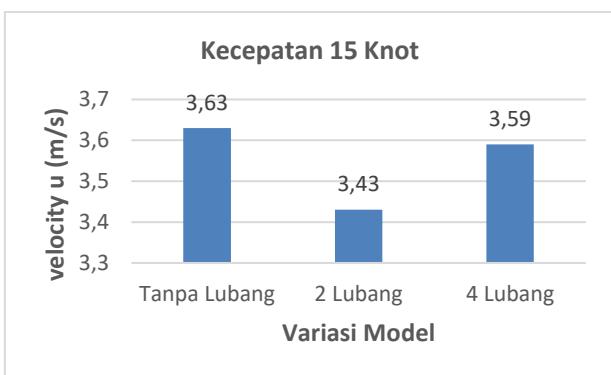


Gambar 21: Pola Aliran Skeg 4 Lubang 10 Knot

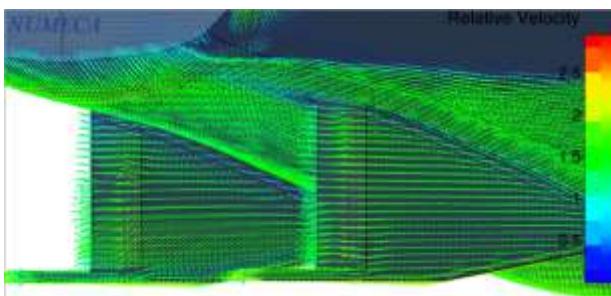
Pada kecepatan 10 knot, pengujian dari ketiga variasi didapatkan hasil nilai *velocity u*. Hasil nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 7 dan Gambar 22.

Tabel 7: *Velocity u* pada 15 Knot

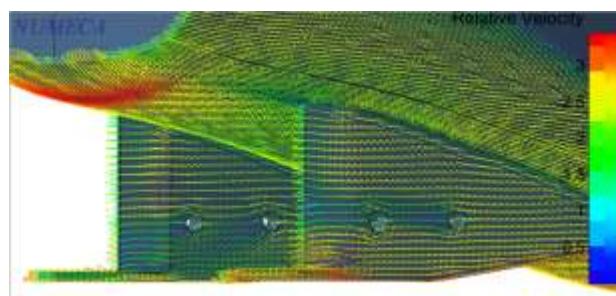
Velocity <i>u</i> 15 Knot	
Variasi	Nilai
Skeg Tanpa Lubang	3.63 m/s
Skeg 2 Lubang	3.43 m/s
Skeg 4 Lubang	3.59 m/s

Gambar 22: *Velocity u* pada 10 Knot

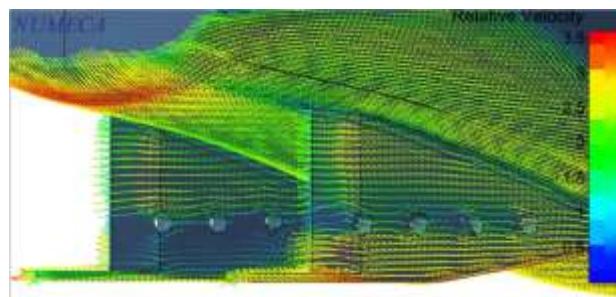
Gambar 22 menampilkan grafik perbandingan nilai *velocity u* pada masing-masing variasi bentuk *skeg* kapal *tugboat* pada kecepatan 15 knot. Model *skeg* tanpa lubang kembali menunjukkan performa tertinggi dengan nilai *velocity u* sebesar 3,63 m/s, diikuti oleh model *skeg* dengan empat lubang sebesar 3,59 m/s. Nilai *velocity u* terendah diperoleh pada variasi *skeg* dengan dua lubang, yaitu sebesar 3,43 m/s. Kecenderungan ini menunjukkan bahwa konfigurasi *skeg* tanpa lubang secara konsisten menghasilkan kecepatan aliran longitudinal yang lebih tinggi dibandingkan variasi lainnya, baik pada kondisi kecepatan rendah maupun tinggi [17], [18]. Visualisasi aliran ditampilkan pada Gambar 23, Gambar 24, dan Gambar 25.



Gambar 23: Pola Aliran Skeg Tanpa Lubang 15 Knot



Gambar 24: Pola Aliran Skeg 2 Lubang 15 Knot



Gambar 25: Pola Aliran Skeg 4 Lubang 15 Knot

4.0 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) terhadap tiga variasi bentuk *skeg* kapal *tugboat* pada kecepatan 10 knot dan 15 knot, *skeg* tanpa lubang menunjukkan performa hidrodinamika terbaik dengan nilai hambatan terendah, masing-masing sebesar 22.570 N dan 138.430 N. Konfigurasi *skeg* tanpa lubang juga menghasilkan pola aliran yang lebih stabil serta kecepatan aliran longitudinal (*velocity u*) tertinggi, yaitu 2,95 m/s pada 10 knot dan 3,63 m/s pada 15 knot. Sebaliknya, penambahan lubang pada *skeg*, baik dua maupun empat lubang, tidak memberikan pengurangan hambatan dan justru meningkatkan nilai hambatan, terutama pada variasi *skeg* dengan empat lubang. Peningkatan hambatan tersebut berkaitan dengan terganggunya pola aliran serta bertambahnya interaksi fluida dengan permukaan *skeg*. Oleh karena itu, penambahan lubang pada *skeg* tidak direkomendasikan apabila tujuan desain adalah meminimalkan hambatan dan mengoptimalkan performa hidrodinamika kapal *tugboat*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. A. Mizan, A. Fiverati, M. A. Wahid, and A. Hamid, "Analisa Kekuatan Konstruksi Pad Eye Towing Hook Kapal Tugboat 27 Meter Dengan Metode Elemen Hingga," *Jurnal Techno Bahari*, vol. 12, no. 1, pp. 22–28, Mar. 2025.
- [2] R. B. Harsi and E. Pranatal, "ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN ENERGY SAVING DEVICE (ESD) PROPELLER BOSS CAP FIN (PBCF) TERHADAP PERFORMA PROPELLER B-SERIES PADA KAPAL RO-RO 600 GT," *SEMITAN*,

- vol. 1, no. 1, pp. 319–326, Aug. 2022, doi: 10.31284/j.semitan.2022.3233.
- [3] R. N. Pratama, P. Manik, and H. Yudo, “Analisa Pengaruh Penambahan Fin Keel terhadap Hambatan, Pola Aliran, dan Stabilitas pada Kapal Ferry Ro-Ro 1000 GT,” *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 8, no. 3, pp. 443–453, July 2020.
- [4] M. A. Zahril and P. Manik, “Analisa Pengaruh Penambahan Hull Fixed Bow Fin Terhadap Gerak Pitching dan Heaving Pada Kapal Tanker 112 Meter,” *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 9, no. 2, pp. 206–214, July 2021.
- [5] G. B. Pangestu, D. Chrismianto, G. Rindo, and J. Soedarto, “Analisa Pengaruh Penambahan Integrated Stern Wedge-Flap terhadap Hambatan Kapal dengan Metode CFD,” *Jurnal Teknik Perkapalan*, Vol. 9, No. 2 April 2021, vol. 9, no. 2, pp. 199–205, Apr. 2021.
- [6] F. Fachruddin, S. Asri, and I. Anyelin, “Analisis Beban Pengelasan Konstruksi Sebuah Kapal Tug Boat 2x2200 HP Type ASD,” *J RTP*, vol. 2, no. 2, pp. 26–32, 2024.
- [7] Z. T. S. Putra and I. K. A. P. Utama, “Analisis CFD Hambatan Kapal Katamaran dengan Stepped Hull Melintang,” *JTITS*, vol. 9, no. 2, pp. G76–G83, Feb. 2021, doi: 10.12962/j23373539.v9i2.56581.
- [8] I. P. S. Asmara, K. Abdullah, A. N. Rochmad, and B. D. Alfanda, “ANALISIS HAMBATAN, STABILITAS, dan SEAKEEPING KAPAL PATROLI LEPAS PANTAI,” *POLBENG*, vol. 12, no. 1, pp. 23–27, 2022.
- [9] R. Mahardi, Y. S. Hadiwidodo, and R. W. Prastianto, “Analisis Pengaruh Pergerakan Barge terhadap Pergerakan Struktur Riser Support Jacket pada Proses Lifting Tahap Instalasi,” *JTITS*, vol. 10, no. 2, pp. G58–G64, Dec. 2021, doi: 10.12962/j23373539.v10i2.66967.
- [10] A. Santosa, B. Adietya, E. Hadi, and D. Chrismianto, “Analysis of the Effect of Addition of Bilge Keel, Bulbous Bow, Skeg and Combination on Value of Ship Resistance and Seakeeping of Ship using CFD Method;,” in *Proceedings of the 7th International Seminar on Ocean and Coastal Engineering, Environmental and Natural Disaster Management*, Surabaya, Indonesia: SCITEPRESS - Science and Technology Publications, 2019, pp. 88–93. doi: 10.5220/0010056900880093.
- [11] D. S. Wibowo, A. K. Akbar, T. A. D. Rosta, H. N. Sukmawardana, and F. A. Rayhan, “Effects of Transom and Skeg Angle on Barge Drag and Seakeeping,” *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. 1454, no. 1, p. 012012, Feb. 2025, doi: 10.1088/1755-1315/1454/1/012012.
- [12] S. Turnock *et al.*, “Hull-propeller-rudder interactions: Time-accurate data of a scaled model ship in waves,” *Ocean Engineering*, vol. 312, p. 119258, Nov. 2024, doi: 10.1016/j.oceaneng.2024.119258.
- [13] H. I. D. Puspita, A. Yasim, R. Rudianto, R. K. K. Wibowo, R. F. Kusnadi, and M. A. N. Akmal, “PENGARUH PENAMBAHAN SKEG TERHADAP OLAH GERAK DAN HAMBATAN KAPAL NELAYAN DI PELABUHAN PERIKANAN PUGER, JEMBER,” *JTPK*, vol. 14, no. 2, pp. 169–179, Oct. 2023, doi: 10.24319/jtpk.14.169-179.
- [14] R. Dewi, U. Budiarto, A. W. B. Santosa, E. S. Hadi, P. Manik, and O. Mursid, “PENGARUH PENAMBAHAN VARIASI GEOMETRI STERN FLAP TERHADAP NILAI HAMBATAN PADA KAPAL PATROLI PERIKANAN,” *JSTM*, vol. 22, no. 1, p. 1, Sept. 2021, doi: 10.33556/jstm.v22i1.296.
- [15] S. F. Pamungkas, D. S. Wijayanto, and H. Saputro, “PENGARUH VARIASI PENAMBAHAN FIN TERHADAP CUT IN SPEED TURBIN ANGIN SAVONIUS TIPE S,” 2017.
- [16] M. Tadros, M. Ventura, and C. Guedes Soares, “Review of the Decision Support Methods Used in Optimizing Ship Hulls towards Improving Energy Efficiency,” *JMSE*, vol. 11, no. 4, p. 835, Apr. 2023, doi: 10.3390/jmse11040835.
- [17] R. Maulana, M. A. Asis, S. Baso, and L. Bochary, “Study Tahanan Kapal Ferry Ro-Ro Twin Skeg”.
- [18] A. Sulisetyono, “The Wave Making Resistance Evaluation of The Fishing Ship With Skeg Using Tent Function Method,” *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. 557, no. 1, p. 012040, Aug. 2020, doi: 10.1088/1755-1315/557/1/012040.