



## Studi Penerapan *Leading Edge Protuberances* Dengan Konfigurasi *Canard* Menggunakan Metode *CFD* Terhadap Gaya Angkat Dan Hambatan Pada Kapal Patroli 14 Meter

Muhammad Saddam Hussein<sup>1)</sup>, Deddy Chrismianto<sup>1)</sup>, Wilma Amiruddin<sup>1)</sup>

Laboratorium Hidrodinamika

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

E-mail: [muh.saddamhissein@gmail.com](mailto:muh.saddamhissein@gmail.com), [deddychrismianto@yahoo.co.id](mailto:deddychrismianto@yahoo.co.id), [wisilmiw@yahoo.com](mailto:wisilmiw@yahoo.com)

### Abstrak

Kapal patroli sebagai salah satu sarana penjaga keamanan wilayah teritorial laut harus memiliki performance yang baik. Salah satu performa yang dimaksud adalah hambatan kapal. Terdapat beberapa cara agar hambatan kapal yang timbul dapat dibuat sekecil mungkin, antara lain penambahan foil di bawah lambung kapal. Penambahan foil dalam kasus ini *leading edge protuberances* ditujukan agar kapal dapat terangkat sehingga WSA (*wetted surface area*) dari kapal akan berkurang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai hasil hambatan paling kecil serta gaya angkat paling besar dengan konfigurasi *hydrofoil canard* dan variasi model foil pada bagian *leading edge protuberances* yang bentuknya menyerupai sirip ikan paus bungkuk (*Megaptera novaengliae*). Analisa dilakukan menggunakan perangkat lunak komputer berbasis *Computational Fluid Dynamics (CFD)*, yaitu *Tdyn 15.1.01*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dari keseluruhan model variasi, model 4L dengan *angle of attack*  $2^\circ$  mampu menurunkan nilai hambatan total kapal Patroli sebesar 38% dan memiliki kenaikan *Lift* sebesar 32,137% dibandingkan kapal original pada *froude number* 0,712.

Kata Kunci : *leading edge protuberances*, Patroli Boat, *hydrofoil*, *lift force*, hambatan, *CFD (Computational Fluid Dynamic)*

### 1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara maritim yang diisi oleh banyak pulau. Dalam rangka mengamankan kedaulatan NKRI diperlukan sebuah kapal patroli yang dibutuhkan untuk menjaga keamanan lautan Indonesia. Kapal patroli merupakan kapal yang berukuran tidak terlalu besar dan di desain mempunyai kemampuan yang maksimal saat berada dilautan.

Hasil penelitian sebelumnya dengan hasil Analisa dari variasi bentuk lunas bilga kapal patroli 14,1 meter dapat mengurangi hambatan gelombang kapal sebesar 2-38% namun menambah hambatan gesek sebesar 0.5-13% [1] Kemudian pada penelitian yang lain menggunakan variasi foil yang sama yaitu model 8M dan 8L dengan *angle of attack*  $3,5^\circ$  menurunkan nilai hambatan total KMP. Catamaran sebesar 48,6% dan 42,71% daripada kapal original pada kecepatan 25 knot.

Dalam kurung waktu 10 tahun terakhir banyak pertumbuhan signifikan dalam penelitian di bidang *airfoil*, *hydrofoil* dan sayap dengan *leading edge protuberances* yang bentuknya menurut Fish et. al. menyerupai sirip ikan paus bungkuk (*Megaptera novaengliae*)[2]. Dengan tubuhnya yang besar paus bungkuk memiliki maneuver yang istimewa saat menerjang mangsanya

Watt dan Fish menggunakan metode panel memakai seri foil *NACA 634-021* dengan *aspect ratio* dua pada *AOA*  $\alpha = 10^\circ$  terjadi peningkatan *lift force* sebesar 4.8% pada foil tanpa *protuberance* dan penurunan 10.9% pada *drag* [3]. Sebuah studi tentang karakteristik model sirip ikan paus bungkuk dilakukan pula oleh Miklosovic et al. yang melaporkan bahwa peningkatan sebesar 6% pada *lift* maksimum dan peningkatan *stall angle* sebesar 40% untuk model sirip dengan bentuk *leading edge protuberance*[4].

Variasi yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari dari variasi *wavelength* yaitu  $0,5c$  dan  $0,25c$  dan variasi *amplitudo*  $0,025c$ ,  $0,05c$  dan  $0,12c$  dengan angle of attack  $2,5^\circ$  dan  $5^\circ$ . Pemilihan *amplitudo* dan *wavelength* pada model penelitian ini didasarkan karena nilai tersebut terkait dengan karakteristik dari paus bungkuk [7]. Nilai nilai tersebut di variasikan dengan Froud number pada kapal. Penelitian ini menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic (CFD)*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui gaya angkat dan hambatan yang paling *efisien* dari kapal patrol setelah ditambahkan *foil leading edge protuberance*.

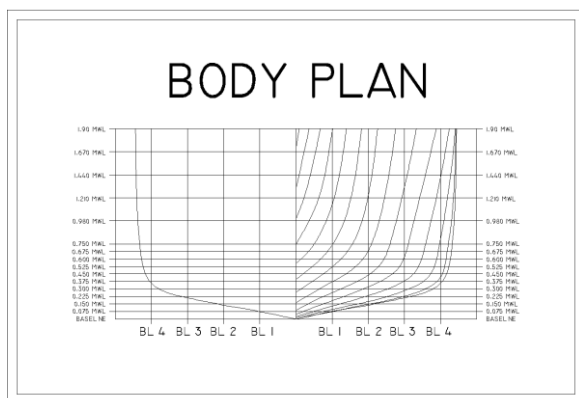
## 2. METODE

Pemecahan dari persoalan dalam penelitian ini adalah bagaimana melihat pengaruh penambahan *foil* di bagian bawah kapal terhadap hambatan. Proses analisis dilakukan dengan cara memberikan perlakuan pada *foil* dengan menyerupai sirip paus bungkuk dengan variasi *angle of attack*. Proses tersebut dilakukan dengan alat bantu analisis software CFD menggunakan *tydn 15.1.0*

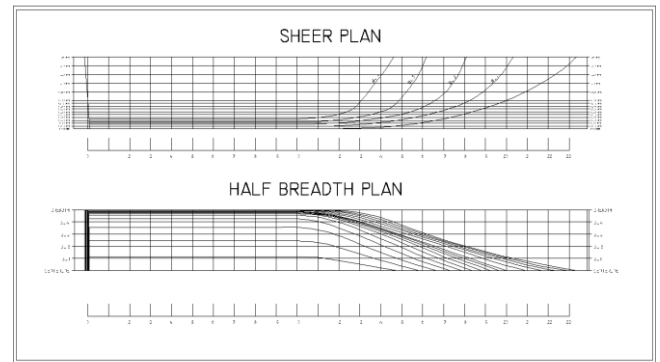
### 2.1. Objek Penelitian

Objek dari penelitian ini yaitu Kapal Ptroli 14,1 meter dimodifikasi dengan penambahan foil jenis *fully submerged foil* menggunakan variasi bentuk *leading edge protuberances* yang mengadaptasi sirip ikan paus bungkuk (*Megaptera novaengliae*). Gambar lines plan dari kapal tersebut dapat dilihat pada Gambar 1, sedangkan data ukuran utamanya termuat pada Tabel 1.

Data-data kapal pada penelitian ini diambil dari data penelitian Analisa dari variasi bentuk lunas bilga kapal patrol. Dan pembuatan gambar *lines plan* pada gambar 1 dibuat menggunakan *software AutoCAD*.



Gambar 1. Body Plan Kapal Patroli 14,1 m



Gambar 2. Sheer Plan dan Half Breadth Plan Kapal Patroli 14,1 m

Tabel 1. Dimensi Kapal

No	Jenis Kapal	Ukuran
1	LOA	14,1 m
2	LWL	12 m
3	B	3,2 m
4	H	1,9 m
5	T	0,75 m
6	Cb	0,55
7	Kecepatan Dinas	25 Knot

### 2.2. Koreksi Sudut Trim

Untuk proses awal penelitian, diperlukan perhitungan koreksi trim pada kapal. Perhitungan koreksi *trim angle* pada analisa *foil* ini dihitung menggunakan persamaan berikut [5]

$$\Delta\alpha = \frac{My}{\rho g I_y} \quad (1)$$

Dimana,

$\Delta\alpha$  : Koreksi sudut trim

$My$  : Momen trim

$\rho$  : Massa jenis fluida

$g$  : Percepatan gravitasi

$I_y$  : Momen inersia pada sumbu Y (*pitching*)

### 2.3. Koreksi Heaving

Penambahan *foil* di bawah badan kapal dapat mempengaruhi gerak *heaving* kapal. Perhitungan Koreksi nilai *heaving* pada kapal dihitung menggunakan persamaan berikut [6]:

$$\Delta z = \frac{Fz}{\rho g A_{wp}} \quad (2)$$

Dimana

$\Delta z$  : koreksi nilai *heaving* kapal

$Fz$  : nilai gaya angkat pada sumbu Z

$\rho$  : Massa jenis fluida

$g$  : Percepatan gravitasi

$A_{wp}$  : *water plan area*

## 2.4. Momen Inersia *Pitching* kapal

Perhitungan moment *inersia* dapat ditujukan untuk mencari nilai *pitching* dari kapal. Perhitungan Momen Inersia *Pitching* kapal dihitung menggunakan persamaan berikut [7] :

$$I_{yy} = \frac{1}{g} \sum [w_i (x_i^2 + z_i^2)] \quad (3)$$

Dimana,

$g$  : Percepatan gravitasi

$w_i$  : Berat setiap fraksi

$x_i$  : Jarak memanjang dari titik gravitasi setiap *section* ke titik gravitasi kapal

$z_i$  : Jarak vertical dari titik gravitasi setiap *section* ke titik gravitasi kapal

## 2.5. Posisi *Foil*

Titik berat kapal didapatkan dari hasil analisa *equilibrium* kapal sehingga kapal dapat beroperasi pada kondisi yang setimbang. Maka peletakan *foil* dapat ditentukan menggunakan rumus berikut [8].

$$\begin{aligned} L1 + L2 &= W \\ L1 \cdot X1 &= L2 \cdot X2 \quad (4) \end{aligned}$$

Dimana,

$L1$  : Gaya angkat pada *foil* 1

$L2$  : Gaya angkat pada *foil* 2

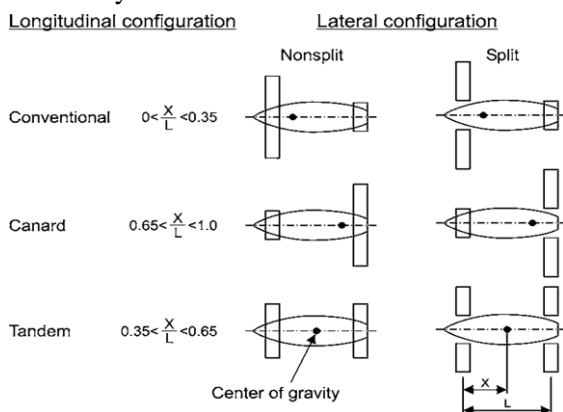
$X1$  : Jarak antara *foil* 1 dan CG pada kapal

$X2$  : Jarak antara *foil* 2 dan CG pada kapal

## 2.6. Konfigurasi *Foil*

Penelitian ini menggunakan konfigurasi *canard* sebagai pemilihan letak *foil*. Dimana WSA *foil* bagian depan lebih kecil dari dari WSA *foil* bagian belakang, membuat konfigurasi ini memiliki ukuran titik *center of gravity* dibelakang midship.[9]

Berikut adalah macam variasi dari konfigurasi *foil* untuk Hydrofoil :



Gambar 3. Konfigurasi *foil* untuk *hydrofoil*

## 2.7. Ukuran *Foil*

Seri NACA yang dianalisis pada penelitian ini adalah NACA seri 6 dengan jenis NACA 63(2)-615 [10]. Konfigurasi dimensi *foil* sebagai berikut:

Tabel 2. Ukuran *Foil*

No	Nama	Posisi	Ukuran
1	<i>Main Chord</i>	Depan	1,2 m
2	<i>Span</i>	Depan	3,6 m
3	<i>Main Chord</i>	Belakang	1,0 m
4	<i>Span</i>	Belakang	2,2 m

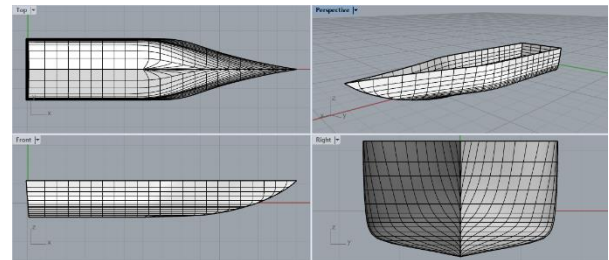
Untuk *strut* atau penyangga kapal, seri NACA yang digunakan adalah NACA 63-012A. Dengan konfigurasi dimensi *foil* sebagai berikut:

Tabel 3. Ukuran *Strut*

No	Nama	Ukuran
1	<i>Main Chord</i>	0,42 m
2	Panjang <i>Strut</i>	0,85 m

## 2.8. Desain Model Kapal Pilot Boat

Model lambung Kapal Patroli dibuat melalui software Rhinoceros v6.0. selanjutnya hasil dari pembuatan model tersebut diskala terlebih dahulu sebesar 1 : 20 kemudian *export file* kedalam bentuk format *file .acis* setelah itu *import file* pada software *CFD Tdyn 15.1.0*. model lambung kapal *original* dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 4. Model kapal *Original*

Konfigurasi peletakan *foil* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan konfigurasi *canard*. Peletakan *foil* yang didapat berdasarkan persamaan (4) adalah seperti berikut:

Tabel 4. Posisi peletakan *Foil*

Model	Letak <i>foil</i> dari LCG (m)		WSA <i>foil</i> (m <sup>2</sup> )	
	Aft	Front	Aft	Front
<i>Original</i>	-	-	-	-
<i>Canard</i>	-2,0	3,9	7,85	4,77

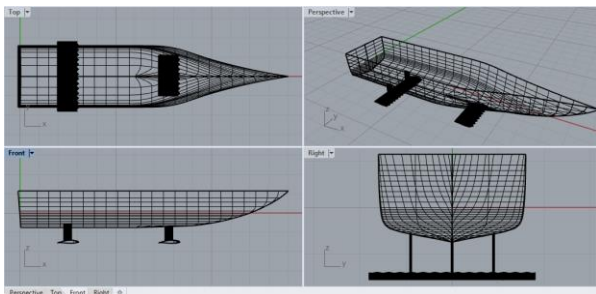


Gambar 5. Peletakan *Foil Original*



Gambar 6. Peletakan *Foil Canard*

Model lambung kapal yang telah ditambahkan *foil* sesuai peletakan pada konfigurasi *canard* dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 7. Model kapal dengan *foil*

## 2.9. Variasi Model

Hambatan dan *Lift force* dianalisis dengan variasi kecepatan kapal sebagai berikut:

Tabel 5. Variasi Model Kecepatan Kapal

Fr	V	
	m/s	knot
0,712	7,717	15
0,949	10,289	20
1,186	12,861	25

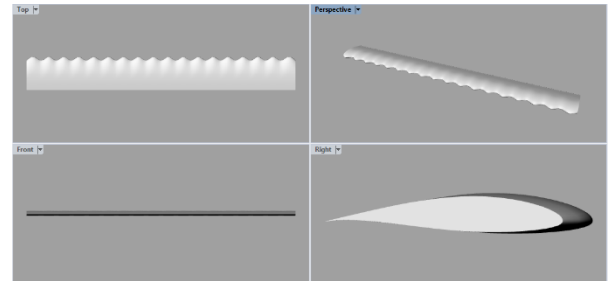
Tabel 6. Variasi Model *Foil*

Model	Wavelength	Amplitudo	Angle of Attack
8L	0,25c	0,12c	2° 4° & 6°
8M	0,25c	0,05c	2° 4° & 6°
8S	0,25c	0,025c	2° 4° & 6°
4L	0,5c	0,12c	2° 4° & 6°
4M	0,5c	0,05c	2° 4° & 6°
4S	0,5c	0,025c	2° 4° & 6°

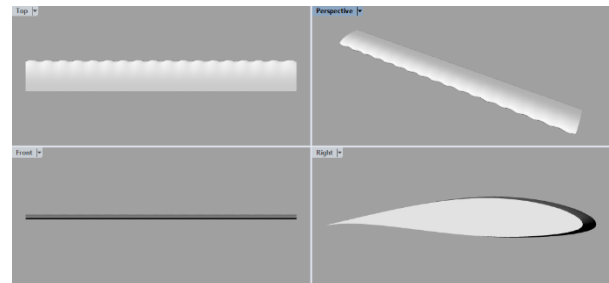
Model ini juga divariasikan pada bagian *leading edge foil* membentuk gelombang *sinusoidal*. Nilai *amplitudo* dan *wavelength* terhadap *chord foil* seperti berikut :

Untuk setiap variasi model *foil* pada kapal patroli panjang gelombang dan amplitudo ditentukan berdasarkan panjang *chord* yang dilambangkan dengan huruf c.

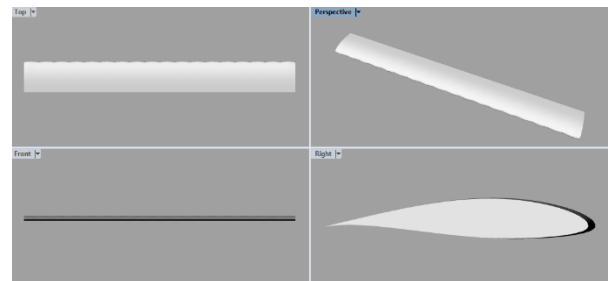
Model variasi *foil* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4-9



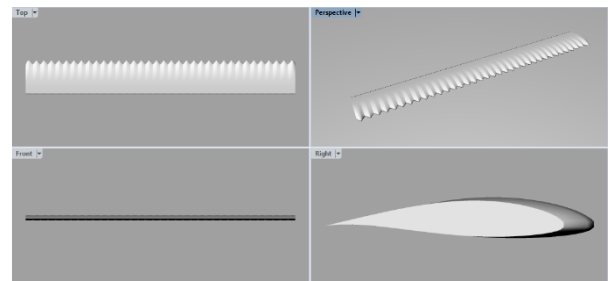
Gambar 8. Model 4L *Wavelength* 0,50c dan *Amplitudo* 0,12c



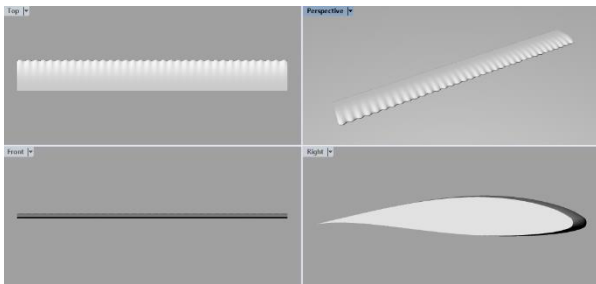
Gambar 9. Model 4M *Wavelength* 0,50c dan *Amplitudo* 0,05c



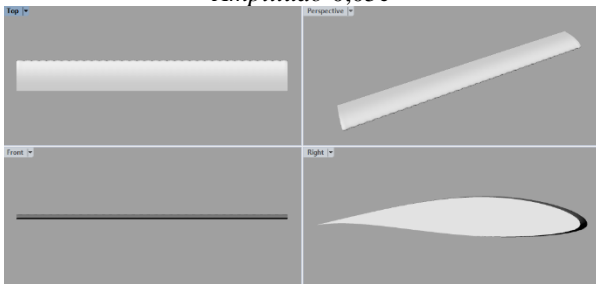
Gambar 10. Model 4S *Wavelength* 0,50c dan *Amplitudo* 0,025c



Gambar 11. Model 8L *Wavelength* 0,25c dan *Amplitudo* 0,12c



Gambar 12. Model 8M Wavelength 0,25c dan Amplitudo 0,05c

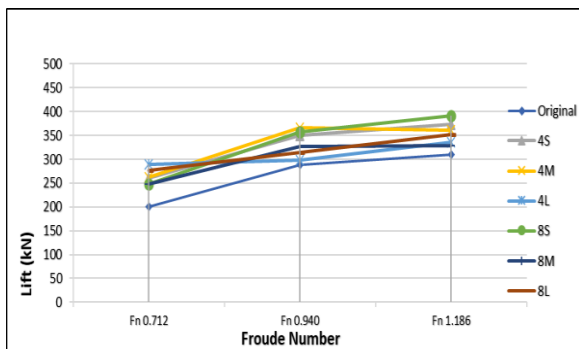


Gambar 13. Model 8S Wavelength 0,25c dan Amplitudo 0,025c

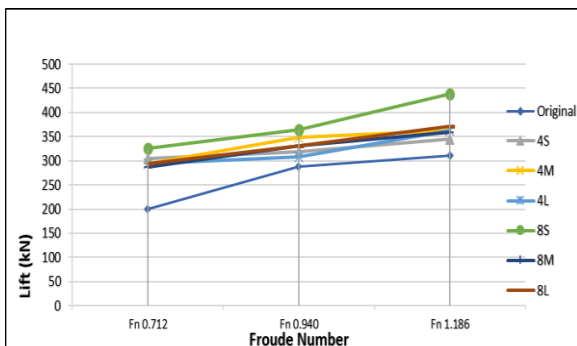
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Lift Force dan Trim Moment Kapal

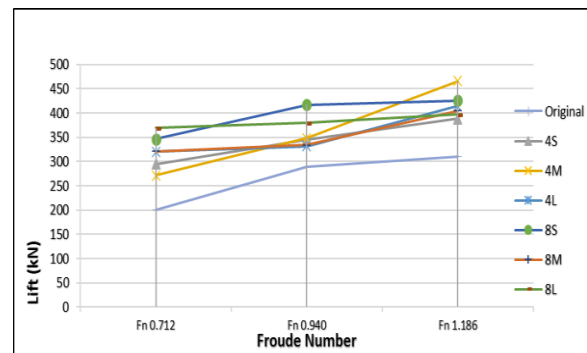
Nilai hambatan dari *hydrofoil* didapat setelah melakukan dua kali proses *running* menggunakan software *CFD*, pada proses *running* pertama dilakukan untuk mencari nilai *lift force* dan nilai *momen trim*. Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai *trim* dan *heave* sesuai persamaan (1) dan (2).



Gambar 14. Lift Leading Edge Protuberances Foil with Angle of attack 2°



Gambar 11. Lift Leading Edge Protuberances Foil with Angle of attack 4°



Gambar 15. Lift Leading Edge Protuberances Foil with Angle of attack 6°

Nilai *lift force* kapal didapatkan dengan perhitungan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic* pada *post processor* diambil dari proses *results software CFD*.

Dengan variasi model *leading edge protuberances*, nilai *lift* tertinggi untuk *angle of attack* 2° adalah 391,698 kN di model 8S untuk model *angle of attack* 4° nilai *lift* tertinggi adalah 438,176 kN pada model 8S dan untuk *angle of attack* 6° nilai *lift* tertinggi adalah 466,254 di model 4M, ketiga *lift force* tersebut dapat dilihat pada *Fn* 1,186.

Sedangkan pada setiap *angle of attack*, *lift force* paling rendah didapatkan pada model 8S *angle of attack* 2° dengan nilai 247,734 kN, 4M *angle of attack* 4° dengan nilai 294,120 kN dan 271,530 untuk *angle of attack* 6° pada model 4M.

Tabel 7. Trim Moment with Angle of Attack 2,0°

Model	Trim Moment		
	Fn 0.712	Fn 0.940	Fn 1.186
4S	3.962	5.075	5.422
4M	4.157	4.989	5.478
4L	4.381	4.704	5.361
8S	4.096	5.036	5.853
8M	3.947	4.823	5.082
8L	4.206	4.963	5.125

Tabel 8. Trim Moment with Angle of Attack 4,0°

Model	Trim Moment (Nm)		
	Fn 0.712	Fn 0.940	Fn 1.186
4S	4.779	4.789	5.569
4M	4.742	5.094	5.824
4L	4.724	4.743	5.829
8S	4.999	5.981	6.865
8M	4.245	4.862	5.620
8L	4.733	4.992	5.821

Tabel 9. *Trim Moment with Angle of Attack 6,0°*

Model	Trim Moment		
	Fn 0.712	Fn 0.940	Fn 1.186
4S	4.716	5.001	5.960
4M	4.371	5.159	6.616
4L	4.832	5.143	6.389
8S	5.367	5.598	6.391
8M	5.024	5.088	6.198
8L	5.137	5.372	6.218

Dari data nilai *lift force* dan nilai *trim moment* selanjutnya diolah menggunakan persamaan (2) dan (3) untuk kemudian didapatkan nilai *heave* untuk mengetahui perubahan dari tiap sarat dan nilai *trim angle* untuk semua variasi model kapal pada tiap *Froude number*.

Nilai *heave* digunakan untuk mendapatkan nilai sarat baru yang mana merupakan nilai dari hasil pengurangan sarat asli kapan dengan nilai *heave*. Sehingga nilai sarat baru yang dimiliki oleh kapal akan berbanding terbalik dengan nilai *heave* kapal.

Kondisi equilibrium terjadi ketika kapal dalam sarat baru dan nilai trim diaplikasikan di longitudinal center of floatation (LCF). Yang membuat badan kapal tidak lagi lurus 180° melainkan sedikit mengalami *trim* beberapa derajat sesuai nilai perhitungan.

Tabel 10. Nilai Sarat Baru dengan *Angle of Attack 2° (m)*

Model	Sarat (M)		
	Fn 0.712	Fn 0.940	Fn 1.186
4S	0.447	0.345	0.316
4M	0.447	0.332	0.325
4L	0.415	0.404	0.361
8S	0.463	0.336	0.296
8M	0.429	0.370	0.342
8L	0.429	0.386	0.342

Tabel 11. Nilai Sarat Baru dengan *Angle of Attack 4° (m)*

Model	Sarat (M)		
	Fn 0.712	Fn 0.940	Fn 1.186
4S	0.396	0.380	0.349
4M	0.409	0.347	0.331
4L	0.409	0.392	0.329
8S	0.372	0.264	0.111
8M	0.418	0.365	0.333
8L	0.409	0.366	0.320

Tabel 12. Nilai Sarat Baru dengan *Angle of Attack 6° (m)*

Model	Sarat (M)		
	Fn 0.712	Fn 0.940	Fn 1.186
4S	0.408	0.351	0.300
4M	0.435	0.346	0.210
4L	0.379	0.366	0.270
8S	0.348	0.267	0.256
8M	0.378	0.363	0.281
8L	0.322	0.311	0.290

Nilai sarat baru berbanding terbalik dengan nilai *heave* karena nilai sarat baru diperoleh dari pengurangan sarat asli dengan nilai *heave*, jadi semakin besar nilai *heave* semakin kecil sarat barunya. Nilai sarat baru berbanding terbalik terhadap nilai *lift*, karena semakin tinggi nilai *lift* semakin besar bagian kapal yang terangkat sehingga sarat kapal semakin kecil.

Tabel 13. *Trim with Angle of Attack 2° (deg)*

Model	Trim (deg)		
	Fn 0.712	Fn 0.940	Fn 1.186
4S	0.045	0.061	0.061
4M	0.056	0.059	0.062
4L	0.049	0.053	0.060
8S	0.057	0.059	0.066
8M	0.054	0.056	0.057
8L	0.056	0.056	0.058

Tabel 14. *Trim with Angle of Attack 4° (deg)*

Model	Trim (deg)		
	Fn 0.712	Fn 0.940	Fn 1.186
4S	0.054	0.054	0.063
4M	0.053	0.057	0.065
4L	0.053	0.053	0.066
8S	0.055	0.055	0.076
8M	0.056	0.067	0.073
8L	0.053	0.056	0.065

Tabel 15. *Trim with Angle of Attack 6° (deg)*

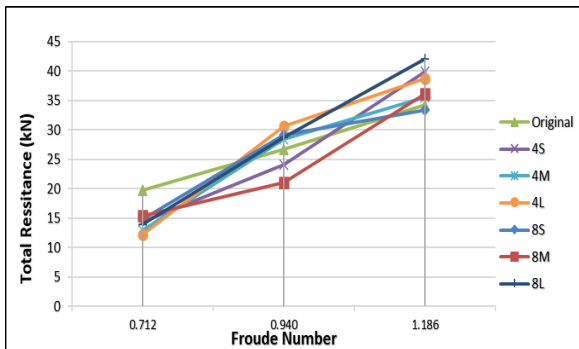
Model	Trim (deg)		
	Fn 0.712	Fn 0.940	Fn 1.186
4S	0.053	0.056	0.067
4M	0.049	0.058	0.074
4L	0.054	0.058	0.072
8S	0.060	0.063	0.071
8M	0.057	0.057	0.070
8L	0.058	0.060	0.070



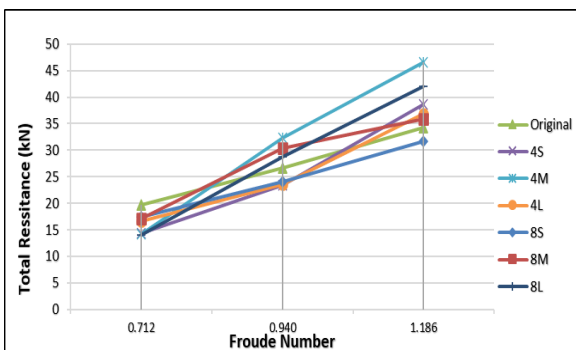
Berdasarkan Tabel data dari table 10 sampai dengan 15 *trim moment* dan *trim angle* berbanding linier dengan nilai *lift force*.

### 3.2. Hambatan Total Kapal

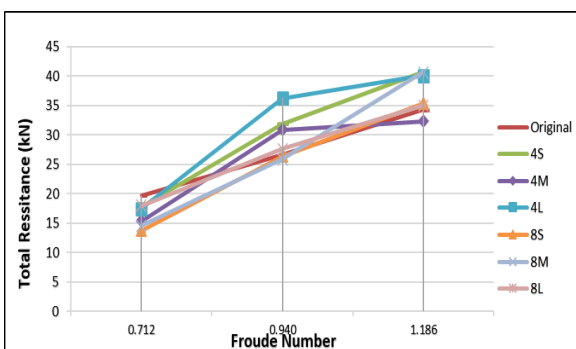
Hambatan total setelah penambahan *hydrofoil* pada kapal menunjukkan penurunan hambatan pada hampir semua model. pada *froude number* 0,712 hambatan total kapal *hydrofoil* konsisten menjadi lebih kecil dibandingkan dengan kapal model *original* tanpa *foil*.



Gambar 16. Hambatan Total *Leading Edge Protuberances Foil* with Angle of attack 2°



Gambar 17. Hambatan Total *Leading Edge Protuberances Foil* with Angle of attack 4°

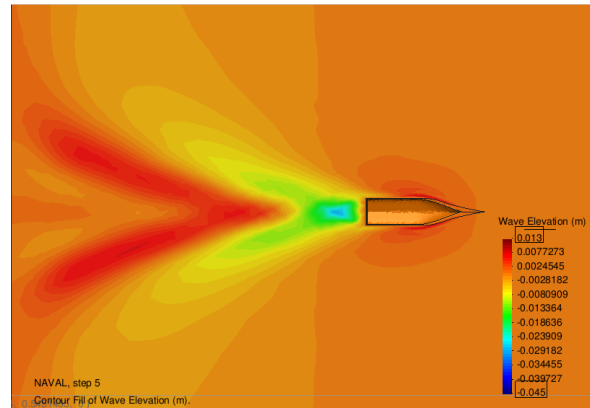


Gambar 18. Hambatan Total *Leading Edge Protuberances Foil* with Angle of attack 6°

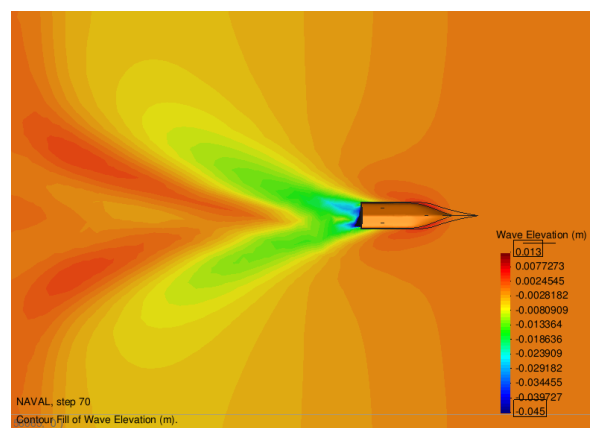
Hasil dari penelitian ini hambatan total yang berkurang paling besar pada *froude number* 0,712 terjadi pada model 4L di *angle of attack* 2° dengan nilai 12,194 kN pada model memiliki penurunan

paling balik sekitar 38%, *froude number* 0,940 pada model 8M di *angle of attack* 2° dengan nilai 21,133 penurunan sekitar 20,1% dan *froude number* 1,186 pada model 8S di *angle of attack* 4° dengan nilai 31,632 kN mengalami penurunan sekitar 12,4%

### 3.3. Pola Gelombang

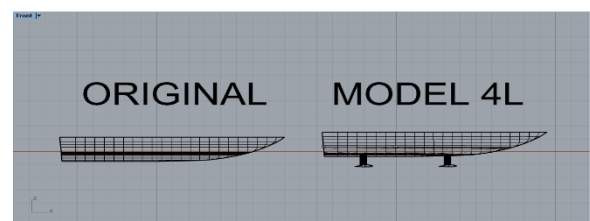


Gambar 19. Pola Gelombang model *Original* sebelum ada *foil* pada *Fn* 0,940



Gambar 20. Pola Gelombang model 4L *angle of attack* 2° pada *Fn* 0,940.

Gambar 19 dan 20 menunjukkan kita model *original* memiliki warna dari pola gelombang yang lebih tajam dibandingkan dengan model 4L pada rentan *wave elevation* yang sama. Pada model 4L pola gelombang yang terjadi diakibatkan karena *strut* dan *foil* yang masih berada di bawah permukaan air.



Gambar 21. *Equilibrium* model *Original* dan model 4L *Angle of attack* 2° pada *Fn* 0.712

#### 4. KESIMPULAN

Dari enam variasi model dan tiga variasi *angle of attack*, nilai *lift* terbesar dihasilkan oleh model 4M di *froude number* 1,186 pada *angle of attack* 6° sebesar 466,25 kN. Sedangkan nilai *lift* terendah terjadi pada model 8S di *froude number* 0,712 pada *angle of attack* 2° sebesar 247,734 kN.

Nilai hambatan total paling rendah dihasilkan oleh model 4L di *froude number* 0.712 pada *angle of attack* 2° dengan penurunan sebesar 38% dari hambatan total kapal *original* tanpa penambahan *foil*.

Model Variasi *leading edge protuberances* yang memiliki gaya angkat besar dan efektif untuk memperkecil nilai hambatan total Kapal Patroli 15 meter yaitu model variasi 4L atau model dengan *wavelength* 0,5c dan *amplitudo* 0,12c dengan *angle of attack* 2°.

Variasi model *leading edge protuberances* yang paling berpengaruh pada kapal adalah variasi *wavelength*. Semakin besar *wavelength* maka membuat gaya angkat kapal lebih besar sehingga badan kapal terangkat dan WSA (*watted surface area*) menjadi lebih kecil hal ini membuat hambatan pada kapal menjadi berkurang. Variasi *amplitudo* juga berpengaruh terhadap gaya angkat meskipun tidak sebesar *wavelength*, semakin besar nilai *amplitudo* maka gaya angkat akan cenderung meningkat dan mengangkat badan kapal sehingga hambatan kapal akan berkurang dibanding kapal *original* tanpa *foil*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Saputra, I. P. Mulyanto, and W. Amiruddin, *Analisa Pengaruh Bilge Keel Tipe Bulb Terhadap Lambung V Dan U Pada Kapal Patroli Dengan Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamic (CFD)*, vol. 5, no. 2. 2017.
- [2] N. P. B. Mannam, P. Krishnankutty, H. Vijayakumaran, and R. C. Sunny, "Experimental and Numerical Study of Penguin Mode Flapping Foil Propulsion System for Ships," *J. Bionic Eng.*, vol. 14, no. 4, pp. 770–780, Oct. 2017.
- [3] F. E. Fish, P. W. Weber, M. M. Murray, and L. E. Howle, "The tubercles on humpback whales' flippers: Application of bio-inspired technology," *Integr. Comp. Biol.*, vol. 51, no. 1, pp. 203–213, 2011.
- [4] D. S. Miklosovic, M. M. Murray, L. E. Howle, and F. E. Fish, "Leading-edge tubercles delay stall on humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) flippers," *Phys. Fluids*, vol. 16, no. 5, pp. 1–5, 2004.
- [5] M. Salas, R. Luco, P. K. Sahoo, N. Browne, and M. López, "Experimental and CFD resistance calculation of a small fast catamaran," *Int. Conf. high Perform. Veh.*, pp. 215–229, 2004.
- [6] R. D. Edfi and I. K. A. P. Utama, "Analisa Perubahan Gaya Angkat dan Hambatan Total Terhadap Variasi Aspect Ratio dan Winglet pada Sayap Kapal Wing In Surface Effect Menggunakan Aplikasi CFD," *J. Tek. ITS*, vol. 7, no. 2, pp. 204–209, 2019.
- [7] R. Bhattacharyya, *Dynamics of Marine Vehicles with Aerodynamic Surfaces*. New York: John Wiley & Sons, 1978.
- [8] D. N. Azis, D. Chrismianto, and B. A. Adietya, "Analisa Gaya Angkat dan Hambatan pada Dihedral Surface Piercing Hydrofoil Katamaran Menggunakan Metode CFD (Computational Fluid Dynamic)," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 7, no. 4, Sep. 2019.
- [9] 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, Aug. 2017.
- [10] W. A. Timmer, "An overview of NACA 6-digit airfoil series characteristics with reference to airfoils for large wind turbine blades," *47th AIAA Aerosp. Sci. Meet. Incl. New Horizons Forum Aerosp. Expo.*, no. January, pp. 1–13, 2009.