



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisis Pengaruh Variasi Bentuk Lambung *Waterline Parabolization* Terhadap Hambatan, Arah Dan Kecepatan Aliran (*Wake*), Serta Olah Gerak Kapal Pada Kapal Kontainer Sunship Eurocoaster

Billy Reynaldo¹⁾, Berlian Arswendo A¹⁾, Muhammad Iqbal¹⁾

Laboratorium Hidrodinamika

¹⁾Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email : reynaldobilly@gmail.com, berlianswendokapal@gmail.com, iqbal.muhammad.1412@gmail.com

Abstrak

Bentuk lambung sangat penting dirancang dengan baik agar dapat mengurangi hambatan dan mempunyai olah gerak yang baik. Konsep bentuk lambung *waterline parabolization* dapat mengurangi hambatan gelombang yang terjadi pada kapal dengan penambahan *breadth* kapal. Meskipun terjadi peningkatan pada *breadth* kapal, bentuk lambung *waterline parabolization* dapat menghasilkan cukup pembatalan gelombang untuk mengurangi nilai hambatan total kapal. Penelitian ini bertujuan untuk membuat beragam model bentuk lambung *waterline parabolization* kemudian dianalisis hambatan, kecepatan aliran dan nilai *wake* serta olah gerak kapal. Adapun tahapan yang dilalui untuk mencapai tujuan tersebut menggunakan beberapa *software* perkapalan yang terintegrasi. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa model variasi 10% adalah model yang paling optimal mengurangi hambatan total kapal sebesar 15,430% pada Fn 0,14, 18,614% pada Fn 0,18, 18,166% pada Fn 0,19, 16,331% pada Fn 0,21, dan 14,644% pada Fn 0,23 dengan ukuran *breadth* kapal sebesar 12,815 m, model variasi 10% yang paling optimal mengurangi nilai *wake* yaitu dengan nilai *wake* 0,2172, 0,2211 dan 0,2360 dengan persentase selisih nilai *wake* dengan kapal orisinal berkurang 16,168% , 13,92% dan 5,701%, sedangkan untuk olah gerak kapal nilai *rolling* paling rendah pada *wave heading* 90° terdapat pada model variasi 5% yang mengalami penurunan yang sama yaitu 1,08% pada Fn 0,14, Fn 0,18 dan pada Fn 0,21 dari model kapal orisinal, dan untuk nilai *vertical acceleration* paling rendah terdapat pada model variasi 10% pada Fn 0,14 di *sea state* 3 yang mengalami penurunan sebesar 4.35% pada *wave heading* 90°, 3,92% pada *wave heading* 135°, dan 4.92% pada *wave heading* 180° dari model orisinal. Semua kondisi hasil analisis olah gerak kapal pada tinggi gelombang 0,875 m dan 1,875 m sudah memenuhi standar Nordforsk, namun pada tinggi gelombang 3,25 m *RMS roll motion* melebihi yang disyaratkan yaitu 6 derajat dan pada tinggi gelombang 1,875 m Fn 0,21 dan 3,25 m di setiap Fn terdapat *RMS vertical acceleration* melebihi yang disyaratkan yaitu 0,15 g.

Kata Kunci : *Breadth*, *CFD*, Hambatan, Kapal Kontainer, Olah Gerak Kapal, *Wake*, *Waterline Parabolization*

1. PENDAHULUAN

Kapal banyak diminati masyarakat sebagai sarana transportasi penumpang dan barang antar pulau karena lebih ekonomis. Salah satu jenis kapal pengangkut barang adalah kapal kontainer. Kapal ini mengangkut barang yang sudah diatur dalam peti-peti. Muatan peti kemas selain di dalam palkah, juga diletakkan di atas dek dengan

pengikatan yang kuat, sehingga peti kemas tersebut tidak bergeser dari tempatnya semula pada saat berlayar [1].

Kebutuhan akan kapal kontainer yang tinggi menyebabkan beberapa dekade terakhir banyak dilakukan penelitian pada desain lambung dan haluan untuk kapal kontainer yang dapat meningkatkan performa dari kapal itu sendiri.

Oleh karena itu, penting untuk merancang bentuk lambung yang dapat mengurangi hambatan dan mempunyai olah gerak yang baik. Strategi pengurangan hambatan yang tepat, berperan penting dalam desain lambung. Dalam penelitian ini, teknik yang ada untuk analisis lambung ini menjadi bahasan.

Pada lambung kapal, lebih baik jika ada penambahan *side bulbs* pada bagian *midship*. Penambahan *side bulbs* ini dikenal dengan konsep *waterline parabolization*. Konsep *waterline parabolization* dapat mengurangi hambatan gelombang yang terjadi pada kapal. Meskipun terjadi peningkatan pada *beam* kapal, *side bulbs* pada bagian *midship* dapat menghasilkan cukup pembatalan gelombang untuk mengurangi nilai hambatan total kapal [2].

Dari pemikiran diatas akan dilakukan penelitian guna meningkatkan performa kapal, diantaranya hambatan kapal, nilai *wake*, dan olah gerak kapal dengan variasi bentuk lambung *waterline parabolization*.

1.1. Perumusan Masalah

Dengan memperhatikan pokok permasalahan yang terdapat pada latar belakang di atas, maka permasalahan yang akan diteliti adalah:

1. Bagaimana pengaruh hambatan pada badan kapal setelah dilakukan variasi bentuk lambung *waterline parabolization*?
2. Bagaimana pengaruh olah gerak kapal setelah dilakukan variasi bentuk lambung *waterline parabolization*?
3. Bagaimana pengaruh *wake* pada badan kapal setelah dilakukan variasi bentuk lambung *waterline parabolization*?

1.2. Perumusan Masalah

Batasan masalah digunakan sebagai arahan serta acuan dalam penulisan penelitian sehingga sesuai dengan permasalahan serta tujuan yang diharapkan. Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, permasalahan akan dibatasi sebagai berikut :

1. Kapal yang dikaji adalah kapal kontainer dengan panjang LOA 89,6 m dengan kecepatan 12 knot dan lebar kapal 11,65 m.
2. Perhitungan hambatan total adalah akibat dari fluida air dan tidak ada perhitungan hambatan udara dan angin.
3. Variasi yang digunakan adalah penambahan lebar kapal sebesar 5% dan 10% dari lebar kapal.
4. Tidak ada pengujian *towing tank*.

5. Analisis tugas akhir ini tidak meninjau aspek ekonomis dan kekuatan.

1.3. Tujuan Penelitian

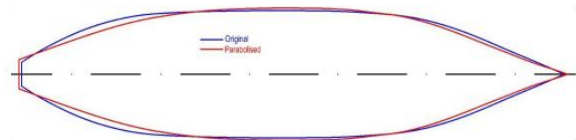
Berdasarkan latar belakang di atas maka maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui nilai hambatan badan kapal yang paling kecil dari variasi bentuk lambung *waterline parabolization*.
2. Mengetahui olah gerak kapal yang paling optimal dari variasi variasi bentuk lambung *waterline parabolization*.
3. Mengetahui nilai *wake* yang paling optimal dari variasi bentuk lambung *waterline parabolization*.
4. Mendapatkan bentuk lambung kapal yang memiliki nilai hambatan paling kecil, *wake* kapal dan olah gerak yang optimal.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Waterline Parabolization*

Waterline parabolization adalah prosedur desain yang digunakan untuk kapal *displacement* untuk mengurangi hambatan gelombang pada lambung dengan cara menambahkan *bulbs* pada bagian *midship*. Meskipun terjadi penambahan lebar kapal, *bulbs* pada *midship* dapat memproduksi pembatal gelombang yang akan mengurangi nilai hambatan gelombang.



Gambar 1. Bentuk Lambung *Waterline Parabolization*

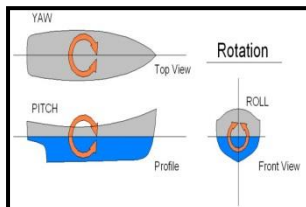
2.2. Hambatan Kapal

Kapal yang bergerak maju diatas gelombang akan mengalami suatu perlawanan yang disebut hambatan. Berdasarkan pada proses fisiknya bahwa hambatan pada kapal yang bergerak di permukaan air terdiri dari dua komponen utama yaitu tegangan normal (*normal stress*) dan tegangan geser (*tangential stress*). Tegangan normal berkaitan dengan hambatan gelombang (*wave making*) dan tegangan viskos. Sedangkan tegangan geser disebabkan oleh adanya viskositas fluida. Kemudian Hambatan disederhanakan lagi dengan komponen hambatan dalam dua kelompok utama yaitu hambatan viskos (*viscous resistance*) dan hambatan gelombang (*wave resistance*) [3].

2.3. Olah Gerak Kapal

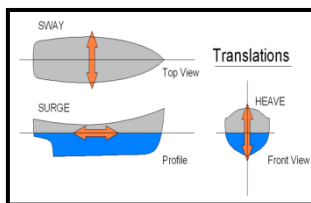
Dalam kajian olah gerak kapal, gerakan yang ditinjau adalah gerakan yang hanya mampu direspon oleh kapal, yaitu *rolling*, *heaving*, *pitching*. Dalam memperoleh perlakuan dari gelombang kapal mengalami 2 jenis gerakan yaitu:

1. Gerakan rotasi, gerak ini merupakan gerak putaran meliputi: *rolling*, *pitching*, *yawing*



Gambar 2. Macam gerak kapal rotasi

2. Gerakan *linear*, gerak ini merupakan gerak lurus beraturan sesuai dengan sumbu nya meliputi: *surging*, *swaying*, *heaving*



Gambar 3. Macam gerak kapal translasi

Dalam kajian olah gerak kapal, gerakan yang ditinjau adalah gerakan yang hanya mampu direspon oleh kapal, yaitu *rolling*, *heaving*, *pitching*. Hasil perhitungan *seakeeping* dievaluasi dengan menyesuaikan standar kriteria *seakeeping* yang tergantung dari jenis kapal.

2.4. Aliran Fluida

Fluida merupakan suatu zat yang dapat mengalir bisa berupa cairan atau gas. Secara umum aliran fluida dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu:

1. Aliran Laminer ($Re < 2300$)

Aliran laminer adalah aliran fluida yang pergerakan partikel-partikel fluidanya sejajar dengan garis arusnya. Aliran laminar bersifat tetap atau *stead*, hal ini menunjukkan bahwa di seluruh aliran debit alirannya tetap atau kecepatan alirannya tidak berubah menurut satuan waktu.

2. Aliran Transisi ($2300 < Re < 4000$)

Aliran transisi adalah kondisi dimana partikel fluida berada pada peralihan dari kondisi seragam menuju kondisi acak, pada kondisi nyata kondisi ini sangat sulit terjadi.

3. Aliran Turbulen ($Re > 4000$)

Aliran turbulen adalah kondisi dimana partikel fluida memiliki kecepatan aliran yang relatif besar dan akan menghasilkan aliran yang tidak laminer melainkan kompleks. Lintasan gerak partikel saling tidak teratur antara satu dengan yang lain. Sehingga didapatkan ciri dari aliran turbulen yaitu tidak adanya keteraturan dalam lintasan fluidanya, aliran banyak bercampur, kecepatan fluida tinggi, panjang skala aliran besar dan viskositasnya rendah.

2.5. Wake Effective Fraction

Pada prinsipnya *wake* / arus ikut berkaitan dengan tiga hal yakni sebuah kapal membutuhkan tenaga atau penggerak untuk berlayar, energi dari penggerak propulsor akan berubah menjadi aliran air, kapal yang bergerak akan menghasilkan *wake* / arus ikut. Dalam setiap aliran air pada badan kapal sampai ke buritan kapal, selalu terjadi *wake* / arus ikut (w) yang merupakan perbedaan antara kecepatan kapal dengan kecepatan air yang melalui baling-baling [4]. *Wake* pada kapal dapat juga terjadi karena pengaruh lambung kapal itu sendiri (dimana air akan mengalir menuju buritan dan membentuk arus).

Wake ini merupakan faktor penyebab munculnya 2 macam kecepatan kapal yakni V_s (kecepatan servis kapal) serta V_a (kecepatan *advance* / kecepatan relatif dari partikel air yang melewati piringan baling-baling). Dimana besarnya V_a akan selalu lebih kecil daripada V_s berdasarkan rumusan sehingga *wake fraction* (w) yang dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$W = 1 - (V_a/V_s) \quad (1)$$

Keterangan :

W = *wake fraction*

V_a = kecepatan *advance*

V_s = Kecepatan *service* kapal

Nilai V_a akan lebih kecil daripada nilai V_s tentunya, dari data akan diperoleh nilai $W < 1$. Semakin kecil nilai *wake* berarti semakin baik dan optimal daya dorong yang akan dihasilkan oleh kapal [5].

2.6. Computational Fluid Dynamics (CFD)

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan salah satu cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisis permasalahan yang berhubungan dengan aliran fluida. Tujuan dari CFD adalah untuk memprediksi secara akurat tentang aliran fluida, perpindahan panas, dan reaksi kimia dalam sistem yang kompleks, yang melibatkan satu atau semua fenomena di atas.

Computational fluid dynamics terdiri dari tiga elemen utama yaitu:

- *Pre Processor*
- *Solver Manager*
- *Post Processor*

Computational fluid dynamic tidak sepenuhnya dapat menggantikan pengukuran secara eksperimen, tetapi jumlah dan biaya eksperimen yang dilakukan dapat berkurang. Terdapat tiga hal yang merupakan alasan kuat dalam penggunaan CFD, yakni: *insight*, *foresight*, dan *efficiency*.

- *Insight* – pemahaman mendalam
- *Foresight* – prediksi menyeluruh
- *Efficiency* – efisiensi waktu dan biaya [6]

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Materi Penelitian

Dalam penelitian ini, penulis memiliki data primer berupa ukuran utama kapal kontainer Sunship Eurocoaster:

LOA (<i>Length over all</i>)	: 89,6 m
LPP	: 84,6 m
B	: 11,65 m
H	: 5,8 m
T	: 4,4 m
<i>Displacement</i>	: 2650 ton
<i>Speed (Vs)</i>	: 12 knot

Untuk data sekunder diperoleh dari literatur (jurnal, buku, dan data yang didapat pada penelitian sebelumnya).

3.2. Parameter Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada variasi bentuk lambung *waterline parabolization* menggunakan beberapa parameter. Penelitian ini disimulasikan untuk mendapatkan model baru dengan performa kapal yang paling baik. Parameter yang digunakan adalah sebagai berikut:

A. Parameter tetap

Penulis menggunakan data primer ukuran utama kapal kontainer Sunship Eurocoaster untuk dijadikan sebagai parameter tetap dalam penelitian ini.

B. Parameter peubah

Model variasi bentuk lambung *waterline parabolization*

- Penambahan lebar kapal sebesar 5% menjadi 12,2325 m
- Penambahan lebar kapal sebesar 10% menjadi 12,815 m

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

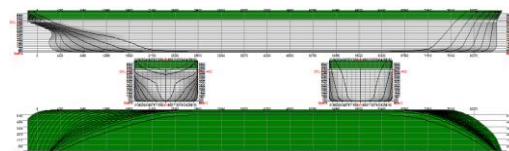
4.1. Pengolahan Data

A. Desain Model Badan Kapal

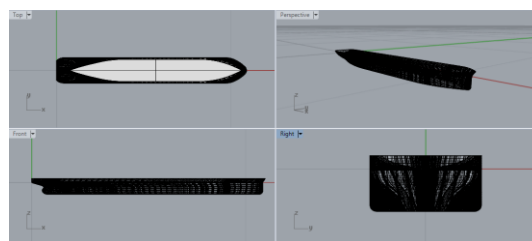
Permodelan untuk analisis hambatan *wake* dan olah gerak kapal kontainer Sunship

Eurocoaster dengan berdasarkan variasi bentuk lambung *waterline parabolization*, menggunakan bantuan *Software Delftship* dan *Software Rhinoceros 5.0* untuk proses pembuatan atau penggambaran.

Dari data pada metodologi dibuat pemodelan badan kapal dengan bantuan *Software Delftship* dan *Software Rhinoceros 5.0* :



Gambar 4. Pemodelan Kapal Orisinal dengan *Software Delftship*



Gambar 5. Pemodelan Kapal Orisinal dengan *Software Rhinoceros 5.0*

Hasil pemodelan dari *Software Rhinoceros 5.0* terlebih dahulu di skala 1 : 80 lalu di ekspor kedalam bentuk *file .iges* kemudian dibuka di *Software CFD Tdyn 12.2.3.0*.

B. Pembuatan Variasi Model

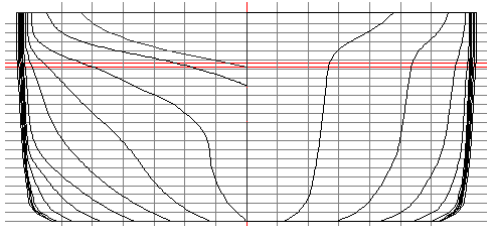
Pembuatan variasi model awalnya dirancang menggunakan *software Autocad* untuk menambahkan lebar kapal dan membentuk lambung menjadi *waterline parabolization*. Acuan yang digunakan untuk melakukan penambahan lebar kapal diambil dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Kevin John Gould (2011) [7], yaitu penambahan lebar kapal sebesar 5% dan 10%.

Tabel 1. Variasi Penambahan *Breadth* Kapal

Model	Variasi	Ukuran <i>Breadth</i>
Model 1	Orisinal	11,65 m
Model 2	5%	12,2325 m
Model 3	10%	12,815 m

Perancangan lambung kapal dimulai dengan menambahkan *breadth* kapal sesuai dengan acuan yang digunakan. Untuk *water line* pada garis sarat sampai garis *main deck*

penambahan *breadth* disesuaikan dengan acuan dari penelitian sebelumnya yaitu 5% dan 10%. Selanjutnya untuk *water line* yang berada di bawah garis sarat sampai *base line* penambahan *breadth* kapal terus berkurang mengikuti pola yang dilakukan pada penelitian sebelumnya. Dalam perancangan bentuk lambung kapal *waterline parabolization* ini, *displacement* kapal variasi harus tetap seperti *displacement* pada kapal orisinal. Untuk menjaga nilai *displacement* tersebut maka saat melakukan penambahan *breadth* pada setiap *waterline*, sudut masuk dan sudut keluar garis tiap *waterline* harus dikurangi sehingga *displacement* kapal tersebut akan sama dengan kapal orisinal. Dengan melakukan hal diatas maka akan didapatkan bentuk lambung kapal dengan penambahan *breadth* yang memiliki bentuk parabola.



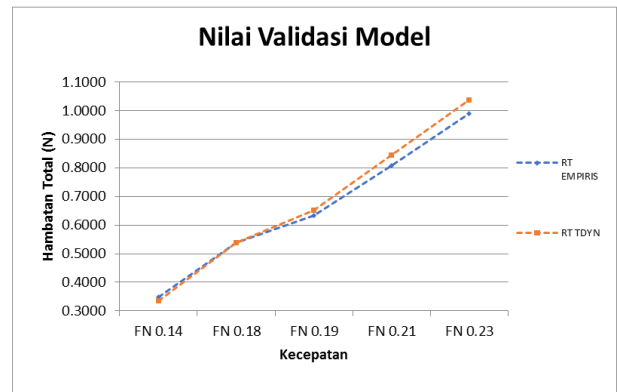
Gambar 6. Body Plan Model Kapal Variasi Penambahan *Breadth* 10%

4.2. Validasi Hambatan Kapal Orisinal

Analisis hambatan menggunakan skala perbandingan antara model dan *prototype* yaitu 1:80. Untuk validasi kapal tanpa variasi bentuk lambung yaitu menggunakan metode *holtrop*.

Tabel 2. Validasi Hambatan Total Kapal Orisinal

F _n	V (m/s)	RT Empiris (N)	RT Simulasi CFD (N)	Error (%)
0,14	0,458	0.3482	0.3337	-4,1413
0,18	0,572	0,5375	0,5393	0,3361
0,19	0,618	0,6323	0,6518	3,0821
0,21	0,683	0.8073	0.844	4,5487
0,23	0,748	0,9911	1,0370	4,6278



Gambar 7. Grafik Nilai Validasi Hambatan Total Kapal Orisinal

Validasi ini digunakan untuk pengaturan konvergensi ukuran *meshing* yang sesuai. Sehingga ukuran 0,009 untuk daerah kapal bawah air, 0,05 untuk *freesurface*, dan 0,1 untuk seluruh komponen sisa bisa digunakan.

4.3. Analisis Hambatan Kapal dengan Variasi Bentuk Lambung *Waterline Parabolization*

Dalam simulasi numerik pada *Computational Fluid Dynamic Tdyn 12.2.3.0* ini nilai hambatan dapat dilihat setelah melakukan *running data* pada menu "*Force on Boundaries*". Berikut hasil simulasi analisis hambatan :

Tabel 3. Nilai Hambatan Total Kapal dengan Variasi Bentuk Lambung *Waterline Parabolization* Pada F_n 0,14 dan F_n 0,18

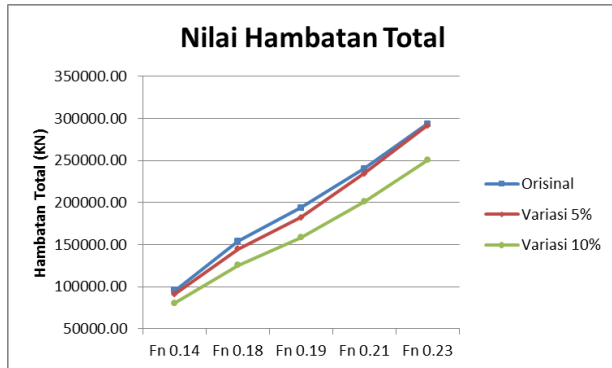
Model	RT F _n 0,14 (KN)		RT F _n 0,18 (KN)	
	RT F _n	Selisih	RT F _n	Selisih
Orisinal	95409.56	-	154055.67	-
Variasi 5%	90961.13	-4.663%	144611.36	-6.131%
Variasi 10%	80688.07	-15.430%	125380.48	-18.614%

Tabel 4. Nilai Hambatan Total Kapal dengan Variasi Bentuk Lambung *Waterline Parabolization* Pada F_n 0,19 dan F_n 0,21

Model	RT F _n 0,19 (KN)		RT F _n 0,21 (KN)	
	RT F _n	Selisih	RT F _n	Selisih
Orisinal	193479.24	-	240251.91	-
Variasi 5%	182171.99	-5.844%	234122.65	-2.551%
Variasi 10%	158331.11	-18.166%	201016.02	-16.331%

Tabel 5. Nilai Hambatan Total Kapal dengan Variasi Bentuk Lambung *Waterline Parabolization* Pada Fn 0,23

Model	RT Fn 0.23 (N)	Selisih
Orisinal	293479.25	-
Variasi 5%	291462.12	-0.687%
Variasi 10%	250503.59	-14.644%



Gambar 8. Grafik Hambatan Total Kapal dengan Variasi Penambahan *Breadth* Kapal

Dari tabel 3. sampai tabel 5. diperoleh nilai hambatan total dari seluruh konfigurasi model. Konfigurasi model variasi model bentuk lambung *waterline parabolization* mengurangi hambatan total pada setiap Fn.

Berdasarkan perhitungan dengan analisis CFD diketahui bahwa model variasi penambahan lebar 10% adalah model yang paling optimal mengurangi hambatan total kapal sebesar 15,430% pada Fn 0,14, 18,614% pada Fn 0,18, 18,166% pada Fn 0,19, 16,331% pada Fn 0,21, dan 14,644% pada Fn 0,23 dengan ukuran *breadth* kapal sebesar 12,815 m.

4.4. Analisis Hambatan Total Kapal Terhadap Hambatan Viskositas dan Hambatan Gelombang Kapal

Hambatan total tersebut terbagi lagi menjadi dua yaitu hambatan viskos (R_v) dan hambatan gelombang (R_w), dan berikut adalah hasil dari analisis kedua hambatan tersebut:

Tabel 6. Perbandingan Hambatan Viskositas dan Hambatan Gelombang pada Fn 0,14

Model	RW Fn 0,14 (KN)		RV Fn 0,14 (KN)	
	Selisih	Selisih		
Orisinal	52187.38	-	43225.04	-
Variasi 5%	49363.09	-5.412%	41598.04	-3.764%
Variasi 10%	38875.91	-25.507%	41812.16	-3.269%

Tabel 7. Perbandingan Hambatan Viskositas dan Hambatan Gelombang pada Fn 0,18

Model	RW Fn 0,18 (KN)		RV Fn 0,18 (KN)	
	Selisih	Selisih		
Orisinal	89563	-	64489.82	-
Variasi 5%	82578.91	-7.798%	62032.44	-3.810%
Variasi 10%	63169.91	-29.469%	62207.77	-3.539%

Tabel 8. Perbandingan Hambatan Viskositas dan Hambatan Gelombang pada Fn 0,19

Model	RW Fn 0,19 (KN)		RV Fn 0,19 (KN)	
	Selisih	Selisih		
Orisinal	116571.39	-	76907.85	-
Variasi 5%	108160.88	-7.215%	74014.02	-3.763%
Variasi 10%	84113.31	-27.844%	74217.80	-3.498%

Tabel 9. Perbandingan Hambatan Viskositas dan Hambatan Gelombang pada Fn 0,21

Model	RW Fn 0,21 (KN)		RV Fn 0,21 (KN)	
	Selisih	Selisih		
Orisinal	150621.44	-	89630.47	-
Variasi 5%	146359.34	-2.830%	87766.15	-2.080%
Variasi 10%	113117.66	-24.899%	87901.20	-1.929%

Tabel 10. Perbandingan Hambatan Viskositas dan Hambatan Gelombang pada Fn 0,23

Model	RW Fn 0,23 (KN)		RV Fn 0,23 (KN)	
	Selisih	Selisih		
Orisinal	190475.68	-	103000.75	-
Variasi 5%	191650.25	0.617%	99811.87	-3.096%
Variasi 10%	150231.57	-21.128%	100272.02	-2.649%

Dari tabel 6. sampai tabel 10. diketahui bahwa konfigurasi model variasi 10% mampu mengurangi hambatan gelombang sebesar 25,507%, 29,469%, 27,844%, 24,899%, dan 21,128% serta terjadi penurunan hambatan viskositas sebesar 3,269%, 3,539%, 3,498%, 1,929%, dan 2,649% pada kecepatan dengan Fn 0,14; 0,18; 0,19; 0,21; 0,23.

4.5. Perhitungan Wake Fraction

A. Penentuan Sumbu Koordinat

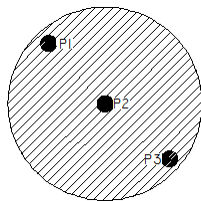
Pada *CFD software package* fitur yang digunakan untuk menganalisis kecepatan aliran diburitan yaitu mendapatkan nilai

kecepatan *advanced* (V_a) dengan memasukan koordinat x , y , dan z . Oleh karena itu lokasi *point* perlu dirancang sedemikian rupa untuk mewakili nilai kecepatan *advance* didaerah buritan kapal. *Point* dirancang sesuai dengan diameter *propeller* kapal. Dalam menentukan nilai *wake* (W_e) kapal maka perlu dirancang lokasi *point* yang mewakili kecepatan *advanced* yang masuk ke *propeller* tersebut.



Gambar 9. Penentuan Lokasi Sumbu x , y dan z

Dalam menentukan *wake* pada penelitian ini dirancang menggunakan 3 lokasi *point* yang berbeda untuk mendapatkan kecepatan *advance* didaerah buritan yang maksimal.



Gambar 10. Lokasi Penempatan Point Pada Propeller

Tabel 11. Titik Koordinat

Titik Kordinat	Nilai Koordinat	
Point 1	X	0,0082
	Y	0,0115
	Z	-0,026
Point 2	X	0,0082
	Y	0
	Z	-0,0379
Point 3	X	0,0082
	Y	-0,0145
	Z	-0,0457

B. Analisis Wake Fraction

Setelah menentukan titik koordinat dari ketiga model variasi yang dianalisis menggunakan software berbasis CFD, di dapatkan variasi model yang lebih optimal dibanding kapal orisinal. Ini dapat dilihat dari *velocity advanced* (V_a) pada bagian buritan kapal, semakin besar nilai V_a maka nilai *wake* semakin kecil dan semakin optimal daya dorong yang dihasilkan kapal seperti pada tabel 12 sampai tabel 14.

Tabel 12. Perbandingan Nilai V_a dan *Wake* pada Fn 0,14

Model	VS (m/s)	VA (m/s)	Selisih (%)	Wake	Selisih (%)
Orisinal	0.458	0.339	-	0.2591	-
Variasi 5%	0.458	0.349	2.854	0.2379	-8.163
Variasi 10%	0.458	0.358	5.654	0.2172	-16.168

Tabel 13. Perbandingan Nilai V_a dan *Wake* pada Fn 0,18

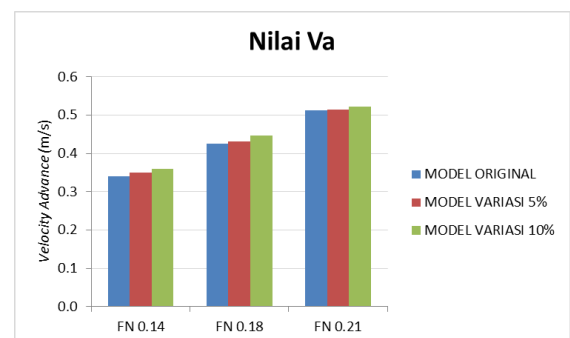
Model	VS (m/s)	VA (m/s)	Selisih (%)	Wake	Selisih (%)
Orisinal	0.572	0.425	-	0.2568	-
Variasi 5%	0.572	0.432	1.598	0.2449	-4.625
Variasi 10%	0.572	0.446	4.81	0.2211	-13.92

Tabel 14. Perbandingan Nilai V_a dan *Wake* pada Fn 0,21

Model	VS (m/s)	VA (m/s)	Selisih (%)	Wake	Selisih (%)
Orisinal	0.683	0.512	-	0.2503	-
Variasi 5%	0.683	0.511	-0.127	0.2473	-1.192
Variasi 10%	0.683	0.521	1.903	0.2360	-5.701

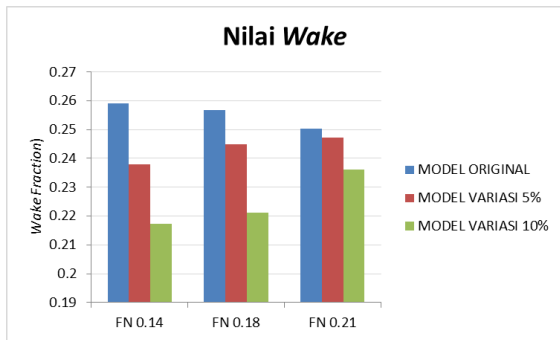
Saat kapal berjalan pada kecepatan Fn 0,14, Fn 0,18 dan Fn 0,21 maka daya dorong yang dihasilkan pada model variasi 10% memiliki nilai *wake* paling kecil yaitu sebesar 0,2172, 0,2211 dan 0,2360 dengan persentase selisih nilai *wake* dengan kapal orisinal berkurang 16,168% , 13,92% dan 5,701%.

Berikut adalah diagram perbandingan nilai kecepatan *advance* (V_a) pada model yang dianalisis:



Gambar 11. Diagram Nilai V_a

Berikut adalah grafik perbandingan nilai *wake* yang terjadi pada model yang dianalisis:



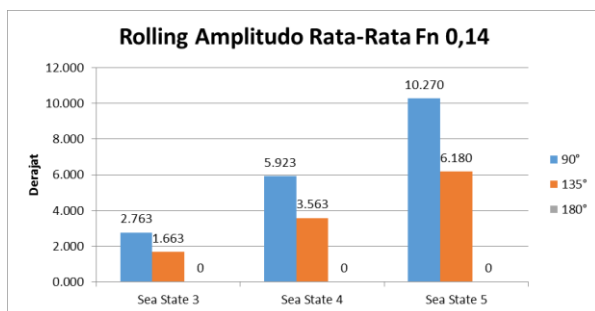
Gambar 12. Diagram Nilai Wake

4.6. Analisis Olah Gerak Kapal

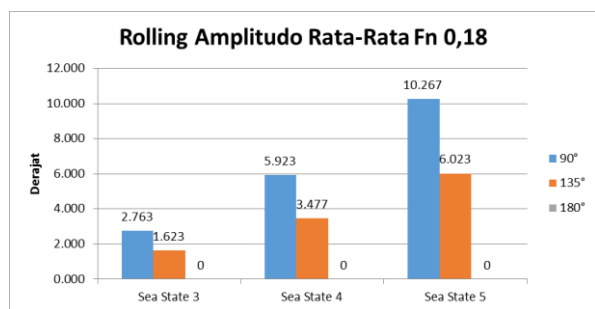
Pada penelitian ini perhitungan olah gerak kapal dilakukan menggunakan *Maxsurf Seakeeper*. Program ini merupakan salah satu perangkat lunak yang mempunyai kemampuan untuk menganalisis *seakeeping performance* diantara beberapa *software* komersial yang telah ada. Jenis spektrum gelombang yang dipergunakan adalah spektrum JONSWAP (*Joint North Sea Wave Project*). Spektrum JONSWAP dipilih karena Laut Indonesia mirip dengan Laut Utara dan merupakan daerah kepulauan. Tinggi gelombang yang dipakai yaitu 0.875 m, 1,875 m, dan 3,25 m.

Analisis dilakukan untuk sudut dari 90°, 135° hingga 180° dengan kecepatan kapal 8 knots, 10 knots dan 12 knots.

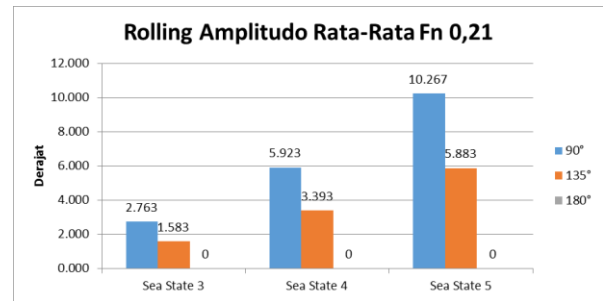
Berikut hasil dari analisis olah gerak berupa nilai rata-rata *Rolling Amplitudo* dari 3 model kapal yang dianalisis adalah :



Gambar 13. Diagram Perbandingan Nilai Rata-Rata *Rolling Amplitudo* pada Fn 0,14



Gambar 14. Diagram Perbandingan Nilai Rata-Rata *Rolling Amplitudo* pada Fn 0,18



Gambar 15. Diagram Perbandingan Nilai Rata-Rata *Rolling Amplitudo* pada Fn 0,21

Berikut adalah hasil dari analisis olah gerak berupa *Vertical Acceleration*:

Tabel 15. Nilai *Vertical Acceleration* untuk Fn 0.14

Sea State	Wave Heading (deg)	Vertical Acceleration		
		Kapal Orisinal	Variasi 5%	Variasi 10%
Sea State 3	90.000	0.023	0.022	0.022
	135.000	0.051	0.050	0.049
	180.000	0.061	0.059	0.058
Sea State 4	90.000	0.050	0.048	0.047
	135.000	0.109	0.107	0.105
Sea State 5	90.000	0.086	0.083	0.082
	135.000	0.189	0.185	0.182
	180.000	0.225	0.219	0.215

Tabel 16. Nilai *Vertical Acceleration* untuk Fn 0.18

Sea State	Wave Heading (deg)	Vertical Acceleration		
		Kapal Orisinal	Variasi 5%	Variasi 10%
Sea State 3	90.000	0.023	0.022	0.022
	135.000	0.057	0.056	0.055
	180.000	0.069	0.067	0.066
Sea State 4	90.000	0.049	0.048	0.047
	135.000	0.123	0.121	0.119
Sea State 5	90.000	0.085	0.082	0.081
	135.000	0.214	0.209	0.206
	180.000	0.256	0.250	0.245

Tabel 17. Nilai Vertical Acceleration untuk Fn 0.21

Sea State	Wave Heading (deg)	Vertical Acceleration		
		Kapal Orisinal	Variasi 5%	Variasi 10%
Sea State 3	90.000	0.023	0.022	0.022
	135.000	0.064	0.063	0.062
	180.000	0.077	0.075	0.074
Sea State 4	90.000	0.049	0.047	0.046
	135.000	0.137	0.134	0.132
	180.000	0.166	0.162	0.159
Sea State 5	90.000	0.084	0.082	0.080
	135.000	0.237	0.233	0.229
	180.000	0.287	0.280	0.275

Berdasarkan perhitungan olah gerak dengan variasi model bentuk lambung menggunakan pendekatan *software Maxsurf Seakeeper* didapatkan nilai *rolling* paling rendah pada *wave heading* 90° terdapat pada model variasi 5% pada *sea state* 3 yang mengalami penurunan yang sama yaitu 1,08% pada Fn 0,14, Fn 0,18 dan pada Fn 0,21 dari model kapal orisinal, dan untuk nilai *vertical acceleration* paling rendah terdapat pada model variasi 10% pada Fn 0,14 di *sea state* 3 yang mengalami penurunan sebesar 4.35% pada *wave heading* 90°, 3,92% pada *wave heading* 135°, dan 4.92% pada *wave heading* 180° dari model orisinal. Semua kondisi hasil analisis olah gerak kapal pada tinggi gelombang 0,875 m dan 1,875 m sudah memenuhi standar Nordforsk, namun pada tinggi gelombang 3,25 m *RMS roll motion* melebihi yang disyaratkan yaitu 6 derajat dan pada tinggi gelombang 1,875 m Fn 0,21 dan 3,25 m di setiap Fn terdapat *RMS vertical acceleration* melebihi yang disyaratkan yaitu 0,15 g.

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan percobaan dan simulasi yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Nilai hambatan total yang didapat dari variasi model bentuk lambung *waterline parabolization* terjadi penurunan, diketahui bahwa konfigurasi model variasi 10% adalah model yang paling optimal mengurangi hambatan total kapal yaitu 15,430% pada Fn 0,14, 18,614% pada Fn 0,18, 18,166% pada Fn 0,19, 16,331% pada Fn 0,21, dan 14,644% pada Fn 0,23 dengan ukuran *breadth* kapal sebesar 12,815 m.

2. Hasil percobaan dan simulasi menyatakan bahwa pada model variasi 10% yang paling optimal mengurangi nilai *wake* yaitu dengan nilai *wake* 0,2172, 0,2211 dan 0,2360 dengan persentase selisih nilai *wake* dengan kapal orisinal berkurang 16,168% , 13,92% dan 5,701%.
3. Untuk olah gerak kapal dengan variasi model bentuk lambung *waterline parabolization* didapatkan bahwa nilai *rolling* paling rendah pada *wave heading* 90° terdapat pada model variasi 5% yang mengalami penurunan yang sama yaitu 1,08% pada Fn 0,14, Fn 0,18 dan pada Fn 0,21 dari model kapal orisinal, dan untuk nilai *vertical acceleration* paling rendah terdapat pada model variasi 10% pada Fn 0,14 di *sea state* 3 yang mengalami penurunan sebesar 4.35% pada *wave heading* 90°, 3,92% pada *wave heading* 135°, dan 4.92% pada *wave heading* 180° dari model orisinal. Semua kondisi hasil analisis olah gerak kapal pada tinggi gelombang 0,875 m dan 1,875 m sudah memenuhi standar Nordforsk, namun pada tinggi gelombang 3,25 m *RMS roll motion* melebihi yang disyaratkan yaitu 6 derajat dan pada tinggi gelombang 1,875 m Fn 0,21 dan 3,25 m di setiap Fn terdapat *RMS vertical acceleration* melebihi yang disyaratkan yaitu 0,15 g.
4. Model variasi bentuk lambung *waterline parabolization* dengan penambahan lebar kapal sebesar 10% adalah yang paling optimal dalam mengurangi hambatan total sebesar 16,331%, *wake fraction* sebesar 5,701%, dan olah gerak kapal pada *rolling* amplitudo dengan *wave heading* 90° sebesar 0,719% dan *vertical acceleration* dengan *wave heading* 90° sebesar 4,35%.

5.2. Saran

Dari analisis performa kapal yang telah di variasi perubahan bentuk lambung *waterline parabolization* penulis menyarankan:

1. Perlu dilakukan kajian lebih lanjut terhadap biaya yang dikeluarkan dengan dilakukannya perubahan bentuk lambung *waterline parabolization* dengan penambahan lebar kapal .
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap penggunaan tipe propeller dan penempatan propeller untuk lebih meningkatkan performa kapal.
3. Dalam analisis menggunakan *CFD*, sebaiknya menggunakan spesifikasi

komputer yang tinggi sehingga dalam simulasi bisa menghemat waktu proses simulasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Calisal, S.M. et al., a Numerical Validation of Resistance Reduction Through Waterline Parabolization for Small Displacement Craft. , pp.11–16.
- [2] Chrismianto, D., & Manik, P. (2016). ANALISA EFFECTIVE WAKE FRICTION AKIBAT PENAMBAHAN STERN TUNNELS PADA KAPAL TROPICAL PRINCESS CRUISES MENGGUNAKAN METODE CFD (COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC), 13(2), 92–98.
- [3] Molland, A.F. (2008), *A Guide to Ship Design, Construction and Operation, The Maritime Engineering Reference Book*, Butterworth- Heinemann, Elsevier.
- [4] Harvald. S.S. (1983). *Resistance and Propulsion of Ships*. New York: John Wiley and Sons
- [5] Lewis, Edward, V. 1988. Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME), *Principles of Naval Architecture Vol. II, Resistance and Propulsion*. New Jersey.
- [6] Zakaria, Achmad Kurniawan. 2017. Analisa Pengaruh Variasi Posisi *Centerbulb* Berbentuk Foil Terhadap Hambatan Kapal Katamaran MV. Laganbar Menggunakan *Metode Computational Fluid Dynamic* (CFD).
- [7] Gould, K.J., 2011. *THE INFLUENCE OF HULLFORM PARABOLIZATION ON THE POWERING, SEAKEEPING AND ECONOMIC CHARACTERISTICS OF THE UBC-FERRY*. The University of British Columbia.