



# Evaluasi Perubahan Bentuk Lambung dengan Variasi Sudut terhadap Respon Hambatan dan Karakteristik Stabilitas Laut menggunakan Simulasi Dinamika Fluida Komputasional (CFD).

**Andika Masrul<sup>1</sup>, Fajri Ashfi Rayhan<sup>1</sup>, Wiwin Sulistyawati<sup>1</sup>, Mochammad Alfiansyah<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Perkapalan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta, Jakarta, Indonesia  
email1 : andika.masrul@upnvj.ac.id

---

## Abstrak

*Stepped planing hull* atau *step hull* adalah sebuah modifikasi lambung kapal yang berprinsip mengurangi daerah permukaan basah. Jenis lambung ini masih jarang digunakan walaupun beberapa kapal yang menggunakan jenis lambung ini telah membuktikan keefektifannya. Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi pengaruh antara variasi sudut *step hull* dengan non-*step hull* terhadap hambatan dan mengidentifikasi *Response of Amplitude Operator* (RAO) pada kapal *step hull* maupun non-*step hull*. Penelitian ini menggunakan metode CFD dan terdapat 3 model konfigurasi lambung di setiap perubahan sudut *step hull* dari 180°, 210°, 240° dan 270°. Hasil penelitian ini mengungkapkan bahwa model *step hull* 270° adalah model lambung dengan rata-rata hambatan total terendah dengan penurunan hambatan sebesar 45.2% dibandingkan lambung non-*step*. Namun, untuk olah gerak kapal model ini mengalami kenaikan respon pada gerakan *pitch*, *roll*, dan *yaw*. Sementara itu model yang memiliki *respons* kapal terbaik dengan konfigurasi yang sama ialah model dengan sudut *step hull* 240° dengan rata-rata penurunan hambatan senilai 40.7%. Penelitian ini menyimpulkan bahwa kenaikan sudut *step hull* sejalan dengan pengurangan hambatan. Tetapi berbanding terbalik dengan *respons* yang diterima kapal. Dengan demikian, Penelitian ini dapat memberikan pemahaman tentang lambung *step* dan menjadi bahan dalam pengembangan lambung *step*.

*Kata kunci:* Kapal cepat, *Step hull*, Variasi Sudut, Hambatan kapal, *Seakeeping*

---

## 1. Pendahuluan

Prinsip Archimedes atau prinsip daya apung menjadi pedoman untuk seluruh kapal sehingga dapat beroperasi di laut (Nowacki, 2010). Pengoperasian tersebut tentunya berdasarkan jenis dan fungsi kapal. Jenis kapal dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam model lambung, yaitu kapal dengan *displacement hull*, *semi-planing hull* dan *planing hull* (Sorensen, 2014). Kapal cepat ini sendiri banyak diminati oleh berbagai sektor seperti kepentingan negara, penerapan militer, penjemputan, eksplorasi, pariwisata dan rekreasi maupun kegiatan perlombaan kecepatan (Febrian, Chrismianto and Rindo, 2018).

Kapal cepat memiliki berbagai pertimbangan untuk mencapai kecepatan yang optimal. Maka dari itu Kapal cepat dirancang dari berbagai aspek. Aspek tersebut adalah keselamatan dan performa kapal, untuk aspek performa kapal perlu diperhitungkan yaitu perencanaan pada mesin, lambung kapal serta komponen propulsi (Rizal, 2018). Dari aspek-aspek tersebut yang memiliki peranan awal dalam optimalisasi kecepatan adalah perencanaan lambung kapal. Sedangkan untuk aspek keselamatan penting untuk dapat memperhitungkan besarnya gerakan kapal yang akan dihadapi oleh kapal dalam pelayarannya guna menghindari kapal terbalik, mengurangi gerakan-gerakan kapal dan mengurangi jumlah air yang membasahi geladak (Lloyd, 1998) hal tersebut juga dapat memengaruhi kenyamanan saat berlayar terhadap awak kapal (Firdaus *et al.*, 2022). selanjutnya, perencanaan lambung kapal semakin hari semakin

---

\* Email Penulis Koresponden:

berkembang, banyak *Naval architect* yang mengembangkan berbagai model. Di antaranya adalah *stepped planing hull*.

*Stepped planing hull* atau *step hull* adalah sebuah modifikasi lambung kapal yang berprinsip mengurangi daerah permukaan basah (*wated Surface Area*) karena adanya turbulensi di bawah lambung kapal dan akan menambah daya angkat kapal (*lifting force*) sehingga dengan sendirinya akan mengurangi tahanan dan menaikkan efisiensi sehingga menghasilkan kecepatan yang lebih tinggi dengan daya mesin yang lebih rendah, hal ini dapat menghemat penggunaan bahan bakar (Savitsky and Morabito, 2010).

Hal tersebut sejalan dengan penelitian yang dilakukan (Najafi, Nowruzi and Ameri, 2020) yang membahas tentang hidrodinamika lambung bertingkat menggunakan metode eksperimen, ditemukan bahwa kapal dengan lambung *step* memiliki hambatan total yang lebih sedikit dibanding kapal yang tidak memiliki lambung *step*. Selanjutnya, berdasarkan penelitian (Febrian, Chrismianto and Rindo, 2018) selain hambatan yang lebih kecil, kapal *step hull* juga memiliki sudut trim yang lebih kecil sejalan dengan kecepatan yang mengakibatkan bertambahnya kestabilan kapal saat melaju dengan kecepatan tinggi.

Kemudian pada penelitian (Febrian, Chrismianto and Rindo, 2018) juga didapati bahwa sudut *step hull* 90° memiliki hambatan total sebesar 14.16 kN, sudut 120° sebesar 13.99 kN, sudut 150° sebesar 13.44 kN, dan sudut 180° sebesar 12.73 kN pada *Froude number* 1.08. Pada kejadian ini dapat dilihat bahwa pola kenaikan sudut *step hull* dapat mempengaruhi hambatan. Hal tersebut menjadi pertimbangan baik apabila ditinjau dari segi hambatan kapal, Tetapi untuk gerakan kapal pada kecepatan tinggi perlu diwaspadai pada kondisi arah gelombang 90° (*beam seas*) karena sangat berpengaruh pada gerakan *rolling*. Hal tersebut sejalan dengan penelitian (Firdaus *et al.*, 2022) mengenai gerakan kapal cepat pada kondisi gelombang ekstrem, penelitian tersebut menganalisis respon kapal terhadap gerakan *heaving*, *pitching* dan *rolling* yang disimulasikan pada sudut 0°, 45°, 90°, 135°, 180° didapati bahwa terjadi perubahan gerakan *rolling* yang signifikan pada sudut 90°.

Berdasarkan kajian di atas penelitian ini akan membahas mengenai pola aliran fluida yang terjadi pada daerah lambung kapal ber-*step* dengan berbagai variasi sudut. Sehingga membuktikan pengaruh variasi sudut *step hull* pada kapal cepat dapat menurunkan hambatan lebih besar daripada tidak menggunakan *step hull* selain itu peneliti juga akan mempertimbangkan bentuk lambung yang memiliki respon gerakan kapal yang baik sehingga dapat memilih lambung dengan bentuk yang optimal.

## 2. Tinjauan Pustaka

Menurut (J. Lawrence, 1985) pada jurnal (Rosmani, 2013) dalam penelitian (Rahman, 2021), menyebutkan bilangan *Froude* dapat berpengaruh pada karakteristik dari kapal cepat. kapal dapat mencapai kecepatan tinggi salah satu penyebabnya adalah Bilangan *Froude* yang besar. Bilangan *Froude* ( $F_n$ ) dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}} \quad (1)$$

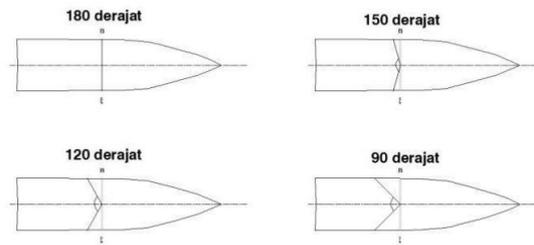
Di mana  $F_n$  adalah *Froude number*,  $V$  adalah kecepatan kapal (m/s),  $g$  adalah percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>) dan  $L$  adalah panjang kapal (m).

Menurut (Zubaer, Budiarto and Iqbal, 2018), kapal dengan kecepatan operasi maksimum di atas 30 knot merupakan kapal cepat, mempertimbangkan banyaknya macam perilaku hidrostatis kapal dengan menggunakan *Froude number* ( $F_n$ ), maka kapal dengan  $F_n$  di atas 0,4 atau *submerged hull* (lambung tercelup) masih dianggap sebagai kapal cepat seperti kapal *monohull* pada umumnya dan *catamaran*.

*Step Hull* adalah modifikasi pada lambung kapal yang bertujuan untuk mengurangi jumlah area lambung yang terkena air, biasanya lambung ini berbentuk “V” dan terdapat bukaan yang besar pada sisi *outboard* di lambung kapal untuk memberikan udara yang bertujuan untuk menarik ke bawah.

*Step hull* bisa dikatakan lebih efektif disebabkan luasan yang tercelup air dapat dibagi beberapa komponen melintang dibandingkan dengan panjang kapal, lebar permukaan lebih efisien, rendah ketika bergesekan dengan aliran. Jadi, filosofi tentang *Step Hull* adalah dengan mengurangi permukaan yang tercelup air. Banyak yang beranggapan bahwa lambung ini mengurangi luasan yang terkena air, tetapi bisa juga dikatakan untuk meminimalkan bagian lambung (Budiarto, 2011).

Adapun komponen dan dimensi dari *step hull* dapat dilihat pada gambar 1.



**Gambar 1.** komponen dan dimensi *step hull*

Sejalan dengan penelitian (Harnita, 2011), hambatan (*resistance*) kapal pada suatu kecepatan adalah gaya fluida yang melawan laju atau gerakan pada kapal.

Hambatan kapal dipengaruhi oleh besarnya kecepatan kapal ( $V_s$ ), berat air yang dipindahkan oleh badan kapal yang tercelup air ( $\Delta$ ), dan bentuk lambung kapal. Hambatan kapal biasa dinotasikan dengan  $RT$  yang disebut hambatan total dengan persamaan:

$$RT = \frac{1}{2} \epsilon \cdot \rho \cdot s \cdot V_s^2 \quad (2)$$

$RT$  adalah hambatan total [N],  $\epsilon$  adalah koefisien hambatan total kapal [-],  $\rho$  adalah massa jenis fluida [ $\text{kg/m}^3$ ],  $s$  adalah luas permukaan basah kapal [ $\text{m}^2$ ],  $V_s$  adalah kecepatan kapal [m/s].

Pada dasarnya kapal yang berada di atas permukaan laut akan selalu memperoleh gaya eksternal yang menyebabkan kapal bergerak (*ship moving*). Gerakan kapal ini disebabkan adanya faktor dari luar terutama oleh gelombang. Dalam memperoleh perlakuan dari gelombang kapal mengalami 2 jenis gerakan yaitu Gerakan rotasi, gerak ini merupakan gerak putaran meliputi *Rolling*, *Pitching* dan *Yawing* dan juga Gerakan linear, gerak ini merupakan gerak lurus beraturan sesuai dengan sumbu nya meliputi *Surging*, *Swaying* dan *Heaving*.

Respon gerakan kapal terhadap gelombang reguler dinyatakan dalam seakeeping atau RAO (*Response Amplitudo Operator*) atau yang biasa disebut sebagai *Transfer Function* karena RAO merupakan alat untuk mentransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk respon pada suatu struktur. Di mana RAO adalah rasio antara amplitudo gerakan kapal yang berupa translasi ataupun rotasi terhadap amplitudo gelombang pada frekuensi tertentu.

Dalam pengerjaan penelitian diperlukan data pendukung yang tepat karena akan sangat berpengaruh dalam proses penyelesaian penelitian ini. Maka diperlukan pengumpulan data berupa hambatan kapal dan aspek yang menyebabkan terjadinya perbedaan hambatan kapal. Data yang dikumpulkan berupa ukuran utama kapal, berikut ukuran utama kapal seperti tabel 1.

**Tabel 1.** Ukuran Utama Kapal

Ukuran Utama Kapal	
Jenis	Lambung non- <i>step</i> ( <i>Model Scale</i> )
<i>Deadrise angle</i>	15° dan 20°
Faktor Skala	1:8
Panjang Kapal (m)	2.5
Lebar Kapal (m)	0.5
Tinggi Kapal (m)	0.312
Rasio (L/B)	5
<i>Displacement</i> (Kg)	48

Tahap ini dilakukan pemodelan lambung kapal *step hull* menggunakan *software* Maxsurf. Proses pemodelan dilakukan dengan membuat bentuk lambung pada keadaan awal lalu mengubah bentuk lambung menjadi lambung *step hull*, dan dibuat beberapa model dengan variasi sudut *step hull* dan *deadrise angle* yang berbeda-beda.

Variasi terdiri dari tiga konfigurasi berdasarkan perbedaan  $L_s$ ,  $H$  dan  $\beta$ . di mana antar konfigurasi terdapat kenaikan sudut *step hull*. Sehingga menghasilkan data seperti pada tabel 2.

**Tabel 2.** Variasi Lambung *Step Hull*

No	CASE	$L_s$ (mm)	H (mm)	$\beta$ (deg)	Step Angle (deg)
1	Original 1	-	-	15	-
2	Original 2	-	-	20	-
3	Step 1	600	20	15	180
4	Step 2	600	30	20	180
5	Step 3	800	20	15	180
6	Step 4	600	20	15	210
7	Step 5	600	30	20	210
8	Step 6	800	20	15	210
9	Step 7	600	20	15	240
10	Step 8	600	30	20	240
11	Step 9	800	20	15	240
12	Step 10	600	20	15	270
13	Step 11	600	30	20	270
14	Step 12	800	20	15	270

Pada tabel 2 ,  $\beta$  adalah *deadrise angle*,  $L_s$  Adalah jarak step dari transom ,  $H_s$  adalah tinggi step.

Setelah dilakukan pemodelan menggunakan perangkat lunak Maxsurf Modeler Advanced selanjutnya akan disimulasikan pendekatan CFD menggunakan perangkat lunak ICEM CFD dan Ansys CFX. Simulasi CFD terbagi menjadi tiga tahap yaitu pemodelan dan *meshing* yang merupakan proses pembagian komponen detail bagian kapal dari bentuk geometri menjadi elemen yang lebih spesifik. *Set up* yaitu melakukan pengaturan sesuai dengan metode dan kondisi yang diinginkan. Kemudian, *running* merupakan pengolahan simulasi yang dianalisis. Selanjutnya, analisis *seakeeping* menggunakan Ansys Aqwa.

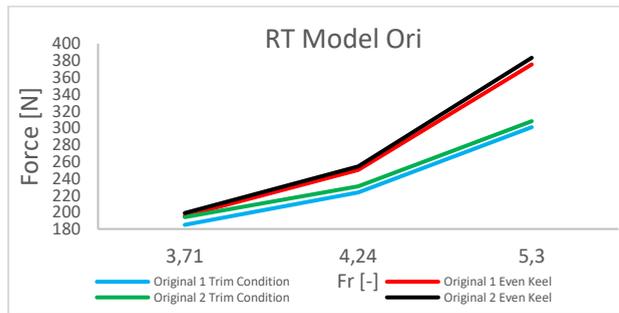
Pada studi ini validasi dilakukan dengan data sekunder, data yang digunakan merujuk pada jurnal (Najafi, Nowruzi and Ameri, 2020) dan (Najafi *et al.*, 2019). Dalam jurnal (Najafi *et al.*, 2019) mengenai investigasi permukaan basah dari *step hull*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik hidrodinamik dengan menggunakan *step hull*. Pada penelitian ini validasi dilakukan dengan mencocokkan hasil dari nilai hambatan total pada model lambung Original 1 dan Original 2 pada kondisi yang serupa menggunakan metode CFD, dengan model lambung Wo/S-15-7 dan Wo/S-20-7 (Najafi, Nowruzi and Ameri, 2020) menggunakan metode *experimental towing tank*.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Setelah dilakukan perencanaan terhadap model orisinal maka selanjutnya dilakukan pembuatan kapal dengan menggunakan *step hull*. Sama seperti tahap sebelumnya, pembuatan modifikasi ini perlu dibandingkan kembali karena terdapat perbedaan kondisi antara kondisi *trim* dengan kondisi *even keel*. Berikut nilai hambatan total dari model Ori 1 dan Ori 2 pada berbagai kondisi tercantum pada tabel 6.

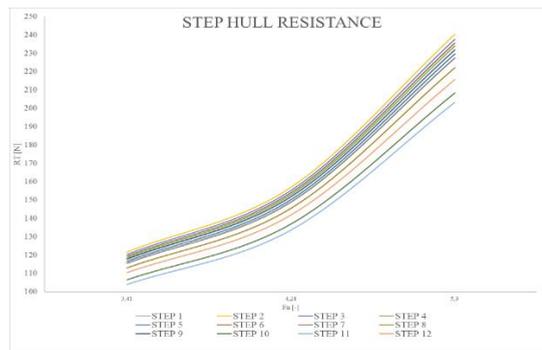
**Tabel 3.** RT Model Ori

RT Model Original 1		
Fn [-]	Original 1 <i>Trim</i> Condition [N]	Original 1 <i>Even</i> <i>keel</i> [N]
3,71	184,954	195,596
4,24	223,554	250,228
5,3	300,841	375,322
RT Model Original 2		
Fn [-]	Original 2 <i>Trim</i> Condition [N]	Original 2 <i>Even</i> <i>keel</i> [N]
3,71	194,11	198,961
4,24	230,703	254,183
5,3	307,952	383,188



**Gambar 2. RT Model Ori**

Pada kedua model Ori 1 dan Ori 2 mengalami kenaikan dari Fn 3.71-5.30 kenaikan yang paling besar terjadi pada Fn 4.24-5.30 . Pada Model Ori 1 *Trim condition* terjadi kenaikan sebesar 34.57% pada Fn 4.24-5.30, sedangkan pada Ori 1 *even keel* mengalami kenaikan sebesar 49.9% pada Fn 4.24-5.30. Pada Model Ori 2 *Trim condition* terjadi kenaikan sebesar 33.48% pada Fn 4.24-5.30, sedangkan pada Ori 2 *even keel* mengalami kenaikan sebesar 50.75% pada Fn 4.24-5.30. Pada grafik di atas memiliki bentuk *trend* yang mirip dikenaikan Fn. Kedua model Ori 1 memiliki perbedaan rata-rata sebesar 11.98%. sedangkan kedua model Ori 2 memiliki perbedaan rata-rata sebesar 10.44%.



**Gambar 3. Step Hull Resistance**

Gambar 6 menunjukkan data variasi step hull. dapat dikonfirmasi bahwa hambatan kapal dengan model *step 11* ( $27^\circ$  dead rise angle and  $270^\circ$  step angle) memiliki nilai hambatan paling rendah dibandingkan dengan sebelas variasi model lainnya. Sedangkan model *step 2* ( $20^\circ$  dead rise angle and  $180^\circ$  step angle) memiliki nilai hambatan terbesar di antara variasi model *step* lainnya. Kondisi tersebut disebabkan bahwa *step 11* dan *step 2* memiliki kesamaan dalam hal letak posisi *step*, tinggi *step* dan juga besarnya *deadrise angle*, tetapi terdapat perbedaan yaitu besaran sudut *step hull* yang mana *step 11* menggunakan sudut  $270^\circ$  sedangkan *step 2* menggunakan sudut  $180^\circ$ .

Persentase penurunan hambatan dihitung berdasarkan data di kelompokan *original cases* dengan memebandingkan sesuai *deadrise angle* lambung kapal. Dietmukan bahwa penggunaan *step hull* dapat mereduksi adanya hambatan kapal. Ditemukan bahwa sudut stepp  $270^\circ$  dapat mereduksi hambatan kapal sampai 47% terbesar dibanding lainnya. Fenomena tersebut mengkonfirmasi bahwa kenaikan sudut *step hull* berbanding lurus dengan pengurangan hambatan.

*Contour* gelombang didapatkan pada analisis *post-processor* pada CFD. Pada bagian kontur ini diklasifikasikan berdasarkan kecepatan yang di dalamnya terdapat pembagian konfigurasi lambung kapal. Pada skripsi ini yang akan dibahas pada kecepatan 7 m/s atau Fn 3,71.

#### 4. Kesimpulan

*seakeeping* menggunakan metode CFD yang sudah dilakukan dengan membandingkan dengan data penelitian (Najafi *et al.*, 2019) dan (Najafi, Nowruzi and Ameri, 2020) yang menggunakan metode *experiment Towing tank*, peneliti dapat memberikan beberapa kesimpulan sehingga dapat menjawab rumusan dari penelitian ini.

- a. Penggunaan *step hull* dapat mengurangi nilai hambatan kapal, sejalan dengan penelitian (Febrian, Chrismianto and Rindo, 2018; Najafi *et al.*, 2019; Najafi, Nowruzi and Ameri, 2020)
- b. Jika dibandingkan dengan lambung tanpa *step hull*, Pada kecepatan 7, 8, dan 10 m/s didapati bahwa *step hull* dengan sudut  $180^\circ$  mendapatkan rata-rata persentase penurunan hambatan sebesar yaitu 38.2%, sudut  $210^\circ$  mendapatkan rata-rata persentase penurunan hambatan sebesar yaitu 39.3%, Sudut  $240^\circ$  mendapatkan rata-rata penurunan hambatan serbesar 40.7%, sudut  $270^\circ$  mendapatkan rata-rata persentase penurunan hambatan sebesar yaitu 45.2% sehingga untuk konfigurasi tersebut menyatakan, kenaikan sudut *step hull* berbanding lurus dengan pengurangan hambatan.

### Nomenklatur

A	Area [ $m^2$ ]
C	nomenklatur selanjutnya berlanjut ke bawah halaman di dalam kotak teks [-]

### Referensi

- Budiarto, G. (2011) 'Testing Position Step Hull at the National Corvette Battleship the Size of 90 meters With CFD Analysis Approach', Department Of Marine Engineering, Ocean Engineering Faculty, ITS, Surabaya [Preprint].
- Febrian, E., Chrismianto, D. and Rindo, G. (2018) 'Analisis Hambatan Dan Gaya Angkat Dari Modifikasi Stephull Dengan Variasi Sudut Pada Kapal Pilot Boat 15 Meter Alu Menggunakan Metode Cfd', Jurnal Teknik Perkapalan, 6(1), pp. 150–159.
- Firdaus, N. et al. (2022) 'Analisa numerik seakeeping kapal cepat rudal pada kondisi gelombang ekstrem', 12(1), pp. 87–93  
(CONTOH)