

# ANALISA HAMBATAN KAPAL AKIBAT PENAMBAHAN *STERN TUNNELS* PADA KAPAL TROPICAL PRINCESS CRUISES MENGGUNAKAN METODE CFD (*COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC*)

Tuswan<sup>1)</sup>, Deddy Chrismianto<sup>1)</sup>, Parlindungan Manik<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email : [tuswannavalarch12@gmail.com](mailto:tuswannavalarch12@gmail.com), [deddychrismianto@yahoo.co.id](mailto:deddychrismianto@yahoo.co.id), [parlin1974@yahoo.com](mailto:parlin1974@yahoo.com)

## Abstrak

*Stern tunnels* merupakan modifikasi bentuk buritan kapal dengan membuat sebuah lekukan kedalam untuk memusatkan aliran air ke *propeller*. Penambahan *stern tunnels* ini dilakukan pada kapal penumpang Tropical Princess Cruises. *Stern tunnels* dipasang pada dua sisi buritan kapal yang berguna untuk mengurangi hambatan yang terjadi pada kapal dan memungkinkan pemasangan *propeller* berdiameter besar. Analisa perhitungan hambatan total menggunakan software berbasis CFD dengan variasi penambahan ketinggian *stern tunnels* (Hw) 0,1 - 0,25 m dan panjang *stern tunnels* (L) 7 - 9 m yang dihitung pada kecepatan dinas kapal yaitu pada Fn 0,46. Dari hasil penelitian tersebut didapatkan hasil analisa bahwa kapal dengan penambahan *stern tunnels* dengan Hw 1,444 m atau rasio penambahan *stern tunnels* sebesar 16% dan panjang *stern tunnels* 7 m memiliki hambatan total terkecil yaitu dengan pengurangan hambatan total sebesar 11,25%. Berdasarkan komponen hambatan yang ada didapatkan bahwa hambatan gelombang (Rw) berpengaruh besar dalam menurunkan nilai hambatan total akibat penambahan *stern tunnels* ini.

Kata kunci : Buritan, *Stern Tunnels*, Hambatan total, *Effective Wake Friction*, Kecepatan Advanced, CFD

## Abstract

*Stern tunnels* are a modification of the ship stern to create a tunnel to concentrate the water flow towards propeller. The addition of *stern tunnels* are conducted on passenger ships Tropical Princess Cruises. *Stern tunnels* installed on two stern sides of the ship that useful to reduce the ship resistance and allowing the installation of large diameter propeller. Analysis of total resistance calculation using CFD- based software with addition variations of *stern tunnels* height (Hw) 0,1 to 0,25 m and *stern tunnels* length (L) 7 to 9 m that calculated on the service speed at froude number 0,46. Research analysis is showed that the ship with *stern tunnels* height 1,444 m or *stern tunnels* add ratio 16 % and *stern tunnels* length 7 m has a smallest total resistance with resistance reduction percentage about 11,25 %. Based on existing resistance components are showed that wave resistance (Rw) has a big impact in decreasing total resistance value due to the addition of *stern tunnels*.

Keywords : Ship Stern, *Stern Tunnels*, Total Resistance, *Effective Wake Friction*, Velocity of Advanced, CFD

## 1. PENDAHULUAN

Kajian perancangan dalam ilmu desain sebuah kapal adalah hal yang sangat penting. Tantangan utama dalam mengkaji kapal adalah sulitnya pencapaian efisiensi yang optimum, baik dari segi performa maupun ekonomi. Salah satu target optimalisasi desain adalah bagaimana mendapatkan kecepatan kapal yang optimum dengan penggunaan daya mesin sekecil mungkin. Kapal penumpang adalah kapal yang

membutuhkan kecepatan yang tinggi dalam berlayar. Namun pada kapal penumpang ini masalah hambatan masih banyak dibahas dan didiskusikan untuk mendapatkan desain kapal yang baik. Permasalahan yang sering terjadi adalah hambatan kapal yang masih terlalu besar yang merupakan faktor penting terhadap efisiensi pelayaran dilaut.

Dalam meningkatkan performa kapal, kajian yang dilakukan pada kapal penumpang ini adalah melakukan modifikasi bentuk buritan

kapal (*stern*) dengan menambahkan *stern tunnels* pada kapal penumpang Tropical Princess Cruises. Modifikasi buritan ini dilakukan untuk mengurangi hambatan total kapal.

Beberapa Kajian yang sudah dilakukan [1], dikatakan bahwa penambahan *stern tunnels* yang sesuai yang dianalisa pada kecepatan 4,251 m/s yang diteliti pada *Deep V Hull Catamaran* dapat mengurangi nilai hambatan *viscous pressure* ( $R_{vp}$ ) kapal dan memungkinkan untuk pemasangan *propeller* berdiameter besar serta mengurangi *tip losses* dan *shaft inclination*.

Dengan landasan tersebut maka perlu kiranya dilakukan analisa tentang hambatan pada kapal penumpang dengan penambahan *stern tunnels* dengan 2 variabel variasi berbeda sehingga mendapatkan analisa yang pasti guna mengurangi nilai hambatan total kapal.

Dengan memperhatikan pokok permasalahan yang terdapat pada latar belakang maka diambil beberapa rumusan masalah adalah bagaimana menentukan nilai hambatan total sebelum dan sesudah divariasikan dengan *stern tunnels* dan bagaimana menentukan komponen hambatan kapal yang berpengaruh secara signifikan dalam mengurangi hambatan total kapal akibat penambahan *stern tunnels*

Dalam penelitian ini dibatasi dengan beberapa parameter yaitu hanya menganalisa hambatan total akibat dari fluida air dengan variasi bentuk *stern tunnels* yang didasarkan pada ketinggian *stern tunnels* ( $H_w$ ) dan panjang *stern tunnels* ( $L$ ), hanya menganalisa hambatan pada kecepatan dinas kapal. Tidak menganalisa pengaruh kenaikan kecepatan terhadap nilai hambatan total kapal dan pada penelitian ini tidak melakukan pengujian *towing tank*.

Tujuan akhir dari penelitian ini adalah mendapatkan bentuk lambung dengan penambahan *stern tunnels* yang memiliki nilai hambatan total terkecil dan mengetahui komponen hambatan kapal yang berpengaruh besar dalam mengurangi nilai hambatan total kapal.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

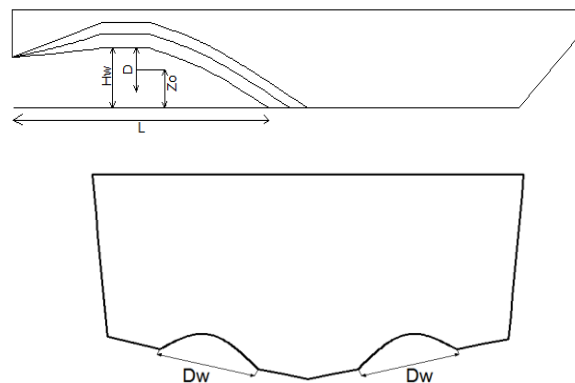
### 2.1 Karakteristik Kapal Penumpang

Kapal Tropical Princess Cruises merupakan jenis kapal penumpang yang melayani penyeberangan antar pulau. Kapal ini dikategorikan kapal penumpang dengan kapasitas kecil karena dimensi ukuran utama

yang relatif kecil. Kapal penumpang harus memiliki kecepatan kapal yang baik dibandingkan dengan jenis kapal lainnya karena mempertimbangkan waktu pelayaran yang cepat

### 2.2 Karakteristik Stern Tunnels

*Stern Tunnels* adalah modifikasi bentuk buritan kapal dengan membuat sebuah lekukan kedalam sehingga memungkinkan pemasangan *propeller* berdiameter lebih besar. Keuntungan dari *stern tunnels* ini adalah efisiensi yang lebih tinggi karena kombinasi dari penurunan sudut poros dan peningkatan ukuran baling-baling (yang mengarah ke efisiensi *propeller* yang lebih besar). [1]



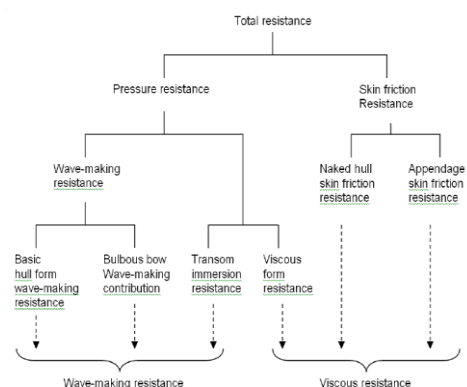
Gambar 1. Dimensi *Stern Tunnels*

Keterangan:

- $L$  : Panjang *stern tunnels*
- $H_w$  : Ketinggian *stern tunnels*
- $D$  : Diameter *propeller*
- $D_w$  : Diameter *stern tunnels*
- $Z_o$  : Jarak *hub propeller* ke *baseline*

### 2.3 Hambatan Kapal

Berdasarkan pada proses fisiknya, 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 [3].



Gambar 2. Diagram komponen hambatan [3]

Hambatan gesek adalah hambatan yang ditimbulkan oleh dua benda atau lebih yang bergesekan dan arahnya berlawanan dengan arah gerak benda [4].

$$R_f = \frac{1}{2} \rho \cdot C_f \cdot s \cdot v^2 \quad (1)$$

Hambatan viskos merupakan hambatan yang terjadi karena adanya efek viskositas fluida. Artinya setiap fluida akan menghasilkan hambatan saat fluida tersebut bergerak ataupun saat sebuah benda lain bergerak melawan arah aliran fluida [4].

$$R_v = \frac{1}{2} \rho C_{vis} (WSA) V^2 \quad (2)$$

Koefisien viskos didapatkan dari perkalian antara koefisien gesek dan *form factor*.

$$C_{vis} = C_f (1+k) \quad (3)$$

Hambatan gelombang  $R_w$  timbul karena adanya gelombang yang berpengaruh pada gerakan kapal pada permukaan cairan, sedangkan kecepatan energi gelombang ( $u$ ) lebih kecil dari kecepatan perlambatan gelombang ( $c$ ).

- Untuk  $Fn < 0.4$

$$R_{w-AO-4} = C_1 C_2 C_5 \nabla \rho g \exp \{ m_1 Fn^d + m_2 \cos(\lambda Fn^{-2}) \}$$

- Untuk  $0.4 < Fn < 0.55$

$$R_w = R_{w-AO-4} + (10Fn - 4) (R_{w-BO.55} - R_{w-AO-4}) / 1.5$$

- Untuk  $Fn > 0.55$

$$R_{w-BO.55} = C_{17} C_2 C_5 \nabla \rho g \exp \{ m_3 Fn^d + m_4 \cos(\lambda Fn^{-2}) \} \quad (4)$$

Hambatan total adalah hambatan yang terjadi akibat adanya komponen hambatan viskos dan hambatan gelombang. Hambatan total dapat dinyatakan dengan persamaan [4].

$$R_T = \frac{1}{2} \rho C_T (WSA) V^2 \quad (5)$$

Dimana:

$\rho$  : masa jenis air laut

$C_t$  : koefisien hambatan total

$S$  : *wetted surface area* ( $m^2$ )

$V$  : kecepatan kapal ( $m/s$ )

Hambatan total kapal ( $R_t$ ) dapat dihitung dengan menjumlahkan 2 komponen hambatan yaitu hambatan *viscous* ( $R_v$ ) dan hambatan gelombang ( $R_w$ )

$$R_t = R_v + R_w \quad (6)$$

## 2.5. Computational Fluid Dynamic (CFD)

*Computational Fluid Dynamics* (CFD) merupakan salah satu cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisa 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*

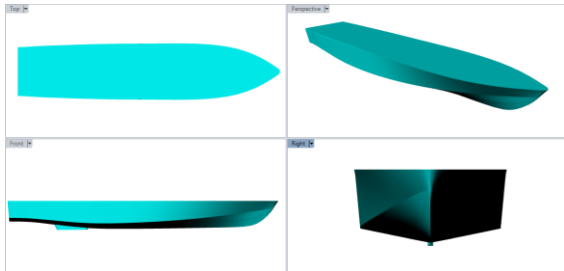
## 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Bentuk dan Ukuran Kapal

Pada penelitian ini model yang akan di analisa menggunakan software CFD diskala pada ukuran tertentu agar memudahkan dalam proses perhitungan. Skala yang digunakan adalah 1 : 40 dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 1 . Ukuran Utama Kapal

Dimensi	Skala Asli	Model Kapal
LOA	30.66 m	0.7665 m
Lwl	28.655 m	0.7164 m
B	6.08 m	0.1520 m
H	3.3 m	0.0825 m
T	1.52 m	0.0380 m
WSA	170.953 $m^2$	0.1067 $m^2$
Vs	7.716 $m \cdot s^{-1}$	1.2188 $m \cdot s^{-1}$
Fn	0.46	0.46



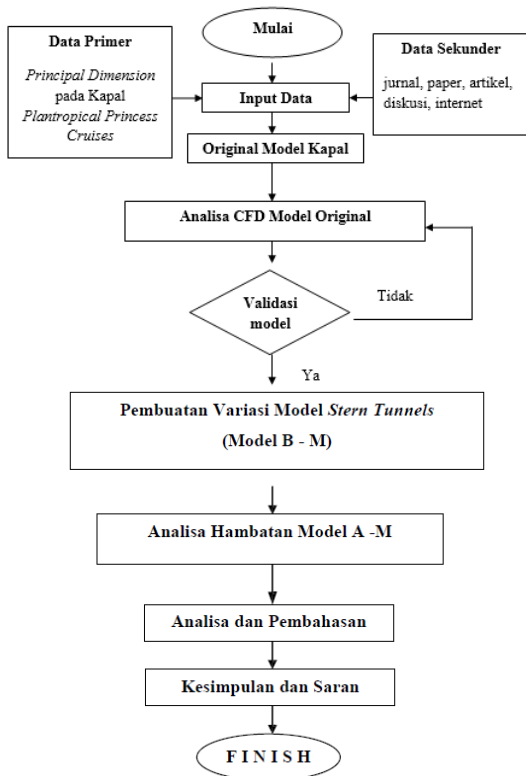
Gambar 3. Hasil Model dengan *Rhinoceros* Versi 5.

### 3.2 Parameter Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada efek yang ditimbulkan oleh penambahan *stern tunnels*. Parameter yang dipakai adalah sebagai berikut :

- Parameter tetap :
  1. Dimensi properties dari lambung kapal antara lain,
    - a. Length Perpendicular (LPP) (m)
    - b. Breadth (B) (m)
    - c. Draft (T) (m)
    - d. Kecepatan kapal (Vs) (m/s)
    - e. Diameter *stern tunnels* (m)
- Parameter peubah
  1. Ketinggian *stern tunnels* (Hw) (m)
  2. Panjang *stern tunnels* (L) (m)

### 3.3 Diagram Alir Penelitian

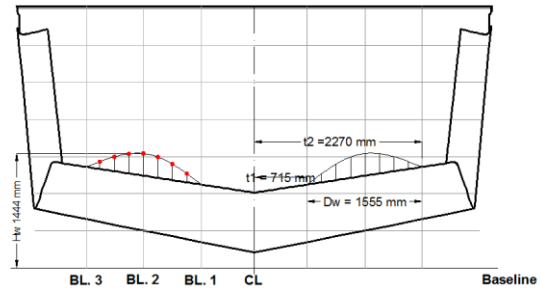


Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Pemodelan Variasi Stern Tunnels

Metode yang digunakan dalam variasi bentuk *stern tunnels* adalah korespondensi satu satu dari parameter yang digunakan.



Gambar 5 Parameter bentuk *stern tunnels*

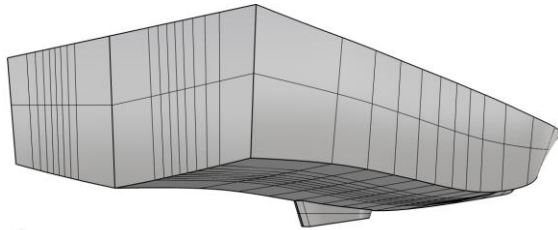
Dalam penelitian ini dirancang model *stern tunnels* sebanyak 2 buah yaitu di *starboard* dan *portside* buritan kapal. Bentuk dari *stern tunnels* adalah bentuk ellips dengan bantuan *spline* antara titik BL 1, BL 2 dan BL 3 pada autoCAD. Parameter pada variasi bentuk *stern tunnels* adalah Hw (ketinggian *stern tunnels*) yang diukur dari *baseline* dan L (panjang *stern tunnels*) yang diukur dari ujung buritan sedangkan diameter *stern tunnels* diasumsikan tetap dengan diameter *stern tunnels* sebesar 1.555 m yang diambil dari titik BL 1 dan BL 3 sehingga dari model variasi desain tersebut didapatkan 12 model variasi baru dengan batas nilai perubahan WSA maksimal sebesar 5% dari WSA kapal original. Hw original kapal sebesar 1,244 m. Skema korespondensi satu satu menghasilkan variasi bentuk *stern tunnels* sebagai berikut:

Tabel 2 . Variasi Model

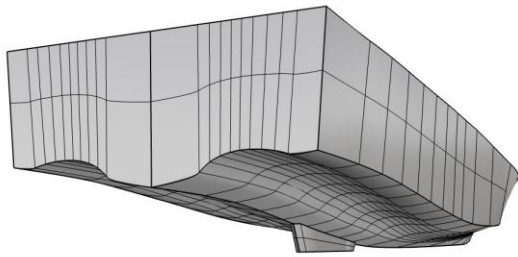
Nama Model	Hw <sub>tunnel</sub>	L <sub>tunnel</sub>
Model A	-	-
Model B	1,344 m	7 m
Model C	1,344 m	8 m
Model D	1,344 m	9 m
Model E	1,394 m	7 m
Model F	1,394 m	8 m
Model G	1,394 m	9 m
Model H	1,444 m	7 m
Model I	1,444 m	8 m

Model J	1,444 m	9 m
Model K	1,494 m	7 m
Model L	1,494 m	8 m
Model M	1,494 m	9 m

Model sebanyak 13 tersebut kemudian dibuat di software *Rhinoceros 5.0* sesuai dengan ukuran yang sudah ditentukan pada masing-masing variasi *stern tunnels*. Berikut adalah tampilan gambar model asli dan hasil korespondensi satu - satu variasi bentuk *stern tunnels*.



Gambar 6 Model Original



Gambar 7 Gambar Model + *stern tunnels*

Tabel 3 . Perbandingan Nilai WSA Kapal

Model	WSA (m <sup>2</sup> )	Presentase Selisih (%)
Model A	0.10676	0.000
Model B	0.10713	0.342
Model C	0.10720	0.412
Model D	0.10725	0.461
Model E	0.10733	0.535
Model F	0.10738	0.579
Model G	0.10739	0.592
Model H	0.10740	0.598
Model I	0.10743	0.628
Model J	0.10756	0.752
Model K	0.10758	0.771
Model L	0.10768	0.861
Model M	0.10775	0.925

Model asli dan model variasi tersebut dianalisa menggunakan software berbasis CFD dan hasilnya dicari komponen nilai hambatan kapalnya.

#### 4.2 Nilai Hambatan Kapal

Pada penelitian ini dalam menentukan nilai hambatan pada model original (Model A) dilakukan dengan 2 perhitungan yaitu metode empiris menggunakan metode holtrop dan metode numerik menggunakan software *Ansys*. Validasi digunakan untuk menentukan *boundary condition* yang tepat untuk digunakan pada *boundary condition* pada saat menganalisa hasil modifikasi *stern tunnels* menggunakan software *CFX*. Adapun maksimal *error* untuk validasi antara *CFX* dengan uji empiris adalah 5%. Dalam menghitung hambatan kapal secara empiris dihitung pada  $F_n$  0,46 yaitu pada saat kecepatan dinas kapal.

Tabel 4 Koefisien hambatan model A secara empiris

$C_r(x10^{-3})$	(1+k)	$C_v(x10^{-3})$	$C_w(x10^{-3})$	$C_T(x10^{-3})$
4,9	1,271	6,23	9,1	15,33

Setelah diketahui nilai  $C_f$ ,  $C_v$ ,  $C_w$  dan  $C_t$  masing masing, dapat mengetahui nilai hambatan total ( $R_t$ ) kapal yang merupakan hasil penjumlahan dari hambatan viskos ( $R_v$ ) dan hambatan gelombang ( $R_w$ ).

Tabel 5 Nilai Hambatan Model A secara empiris

$R_f$ (N)	$R_v$ (N)	$R_w$ (N)	$R_t$ (N)
0,398	0,5065	0,739	1.2463

Nilai hambatan yang dihitung secara empiris ini dijadikan sebagai validasi untuk perhitungan menggunakan metode CFD menggunakan software *Ansys*.

Tabel 6 Koefisien hambatan model A pada *Ansys*

$C_r(x10^{-3})$	(1+k)	$C_v(x10^{-3})$	$C_w(x10^{-3})$	$C_T(x10^{-3})$
5,00	1,271	6,355	9,085	15,44

Setelah diketahui nilai koefisien hambatan masing masing, kita dapat mengetahui nilai hambatan gesek ( $R_f$ ), hambatan viskos ( $R_v$ ),

hambatan gelombang ( $R_w$ ) dan hambatan total ( $R_t$ ).

Tabel 7 Nilai Hambatan Model A pada Ansys

Rf (N)	Rv (N)	Rw (N)	Rt (N)
0,406	0,517	0,738	1.255

Dalam memvalidasikan hasil hambatan antara metode empiris dan metode numerik dilakukan perhitungan batas *error* yaitu sebesar 5%. Hasil validasi perhitungan hambatan adalah sebagai berikut:

Tabel 8 Perbandingan Metode Empiris dan Numerik

Metode	Rf (N)	Rv (N)	Rw (N)	Rt (N)
Empiris	0.398	0,5065	0.739	1,2463
Numerik	0.406	0.517	0.738	1.255
Selisih (%)	2,01	2,07	0,13	0,7

Pada tabel 8 menunjukkan hasil analisis perhitungan hambatan model original yang menunjukkan *countour* dari hasil perhitungan dengan beberapa metode adalah valid. Terdapatnya gap (perbedaan) nilai, bukan menjadi kerugian atau kesalahan (*error*) dalam setiap perhitungan. Munculnya keadaan tersebut merupakan hasil prediksi atau pendekatan dari setiap metode perhitungan dalam memecahkan masalah.

### 1.3 Perhitungan Nilai Hambatan pada Model Variasi

Perhitungan hambatan kapal dengan metode *computational fluid dynamic* diambil dari tahap *results*. Data diambil dari menu *expressions* pada tahap *results*. Data yang diperlukan adalah nilai koefisien hambatan seperti  $C_f$ ,  $C_t$  dan *force@hull* yang menunjukkan nilai hambatan total. Dari *result* tersebut kemudian menentukan nilai hambatan gesek, hambatan *viscous* dan hambatan gelombang.

Simulasi dilakukan untuk mencari model kapal baru dengan hambatan terkecil dari hambatan kapal model *original*. Pada 12 model modifikasi yang di analisa terdapat model dengan hasil yang lebih baik dari pada model *original*. Dari data yang ada, model *original* dan 12 model variasi masing – masing dan dicari nilai hambatannya. Tabel 9 menunjukkan

perbandingan nilai hambatan gesek pada tiap tiap model.

Tabel 9 Perbandingan Hambatan Gesek tiap Model

Model	Rf (N)	Selisih dengan Model A (%)
Model A	0.411	-
Model B	0.412	0.38
Model C	0.413	0.49
Model D	0.413	0.56
Model E	0.413	0.63
Model F	0.414	0.70
Model G	0.414	0.71
Model H	0.414	0.72
Model I	0.414	0.75
Model J	0.414	0.83
Model K	0.414	0.89
Model L	0.415	0.98
Model M	0.415	1.05

Dari tabel 9 dapat didapatkan hasil bahwa nilai hambatan gesek pada ke tiga belas model tersebut menunjukkan bahwa penambahan stern tunnels pada kapal cenderung meningkatkan nilai hambatan gesek, namun peningkatannya tidak terlalu berubah secara signifikan, persentase selisih hambatan terbesar adalah model M sebesar 1.05%.

Hambatan *viscous* ( $R_v$ ) didapatkan dengan rumus  $R_f(1+k)$  adalah hasil kali antara hambatan gesek ( $R_f$ ) dengan *form factor* sehingga dihasilkan hambatan *viscous* pada tabel 10.

Tabel 10 Hambatan *viscous* tiap Model

Model	Rv (N)	Selisih dengan Model A (%)
Model A	0.5230	-
Model B	0.5229	-0.01
Model C	0.5227	-0.06
Model D	0.5226	-0.07
Model E	0.5226	-0.08
Model F	0.5225	-0.09
Model G	0.5222	-0.16
Model H	0.5218	-0.22
Model I	0.5215	-0.28

Model J	0.5215	-0.28
Model K	0.5214	-0.30
Model L	0.5215	-0.29
Model M	0.5214	-0.30

Dari tabel 10 dapat didapatkan hasil bahwa penambahan *stern tunnels* cenderung menurunkan hambatan *viscous* kapal, dalam perhitungan ini didapatkan hasil bahwa nilai *form factor* (1+k) mengalami penurunan yang mengakibatkan dapat mengurangi nilai hambatan *viscous*. Nilai hambatan *viscous* pada ke tiga belas model tersebut menunjukkan bahwa hambatan *viscous* tidak terlalu berubah secara signifikan, kecenderungan nilai hambatannya menurun konstan dengan hambatan terkecil adalah model M dengan presentase selisih 0,30%.

Hambatan gelombang ( $R_w$ ) yang didapatkan dari pengurangan antara hambatan total ( $R_t$ ) yang didapatkan dari nilai *force* dikurangi hambatan *viscous* ( $R_v$ ) adalah sebagai berikut:

Tabel 11 Hambatan Gelombang tiap Model

Model	$R_w$ (N)	Selisih dengan Model A (%)
Model A	0.7320	-
Model B	0.7081	-3.2697
Model C	0.6533	-10.7483
Model D	0.6355	-13.1899
Model E	0.6212	-15.1359
Model F	0.6107	-16.5729
Model G	0.5992	-18.1376
Model H	0.5919	-19.1359
Model I	0.5967	-18.4829
Model J	0.6294	-14.0124
Model K	0.6661	-9.0067
Model L	0.6863	-6.2441
Model M	0.7006	-4.2856

Dari tabel 11 menunjukkan bahwa perubahan hambatan gelombang pada ketiga belas model tersebut menunjukkan range selisih yang signifikan yaitu sebesar 19,1359 % pada model H.

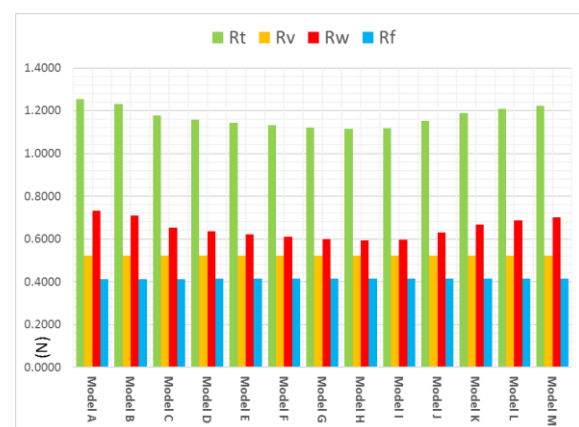
Hambatan total ( $R_t$ ) kapal pada tabel 12 adalah sebagai berikut:

Tabel 12 Hambatan Total tiap Model

Model	$R_t$ (N)	Selisih dengan Model A (%)
Model A	1.2550	-
Model B	1.2310	-1.9124
Model C	1.1760	-6.2948
Model D	1.1581	-7.7230
Model E	1.1438	-8.8606
Model F	1.1332	-9.7052
Model G	1.1214	-10.6454
<b>Model H</b>	<b>1.1137</b>	<b>-11.2582</b>
Model I	1.1182	-10.8980
Model J	1.1510	-6.5006
Model K	1.1875	-5.3778
Model L	1.2078	-3.7624
Model M	1.2220	-2.6265

Dari tabel 12 menunjukkan bahwa dengan penambahan *stern tunnels* dengan 12 model variasi didapatkan bahwa secara keseluruhan penambahan *stern tunnels* dapat mengurangi hambatan total kapal ( $R_t$ ). Dari tabel tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa nilai hambatan total terkecil adalah Model H dengan penambahan *stern tunnels* dengan tinggi *stern tunnels* 1,444 m atau rasio penambahan tinggi *stern tunnels* sebesar 16% dan panjang *stern tunnels* 7 m adalah model yang memiliki hambatan total terkecil yaitu sebesar 1,1137 N dengan selisih nilai hambatan total dengan model original sebesar 0,1413 N atau presentase selisih sebesar 11,2582 %.

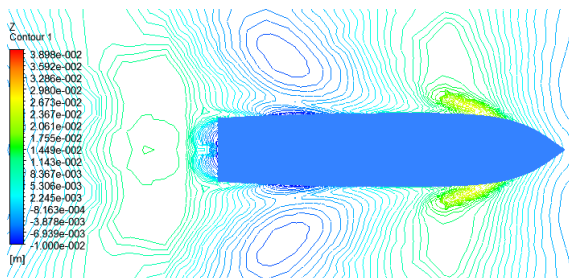
Perbandingan antara keempat nilai komponen masing hambatan dapat dilihat pada gambar 19 berikut ini:



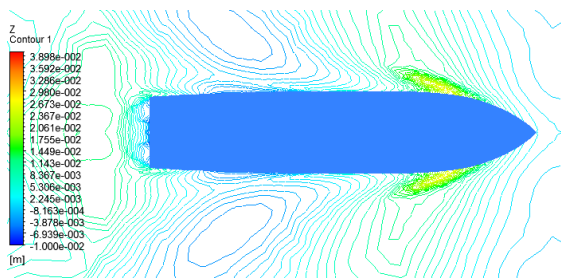
Gambar 8. Perbandingan Nilai Hambatan

Berdasarkan komponen hambatan yang dihitung, dari hasil penelitian pada kapal penumpang yang ditambahkan modifikasi *stern tunnels* ini didapatkan hasil bahwa penambahan *stern tunnels* pada  $Fn$  0,46 ini cenderung menambah hambatan gesek kapal ( $R_f$ ) namun tidak terlalu signifikan. Penambahan *stern tunnels* ini cenderung mengurangi nilai hambatan viscous ( $R_v$ ) kapal dan hambatan gelombang kapal ( $R_w$ ). Dari masing masing komponen hambatan didapatkan kesimpulan bahwa komponen hambatan gelombang ( $R_w$ ) memiliki pengaruh signifikan dalam mengurangi hambatan total kapal penumpang ini.

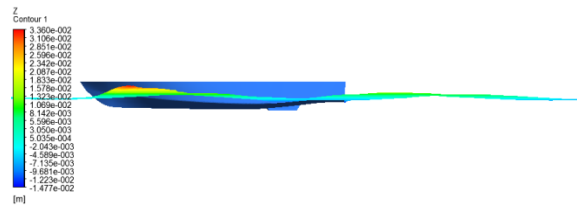
Berikut adalah perbandingan *wave pattern* dan *free surface* antara model original dan model H yang memiliki nilai hambatan total terkecil. Dilihat dari *contour* warna *free surface* antara kedua model tersebut model H yang memiliki nilai hambatan total terkecil memiliki pola gelombang di buritan yang lebih baik dibandingkan dengan model A yang memiliki nilai hambatan total terbesar.



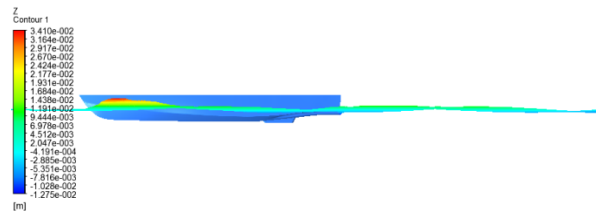
Gambar 9 Wave pattern Model A



Gambar 10 Wave Pattern Model H



Gambar 11. Free Surface Model A



Gambar 12. Free Surface Model H

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan percobaan dan simulasi yang telah dilakukan terhadap model kapal penumpang original dan kapal yang telah dilakukan penambahan *stern tunnels* maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Model H dengan penambahan *stern tunnels* dengan tinggi *stern tunnels* 1,44 m atau rasio penambahan tinggi *stern tunnels* sebesar 16% dan panjang *stern tunnels* 7 m adalah model yang memiliki hambatan total terkecil yaitu sebesar 1,1137 N dengan selisih nilai hambatan total dengan model original sebesar 0,1413 N atau presentase selisih sebesar 11,2582 %.
2. Berdasarkan komponen hambatan, hambatan gelombang ( $R_w$ ) adalah hambatan yang mempengaruhi secara signifikan dari penambahan *stern tunnels* ini dengan presentase pengurangan hambatan gelombang sebesar 19,1359 % yang terjadi pada Model H dengan penambahan *stern tunnels* dengan tinggi *stern tunnels* 1,44 m atau rasio penambahan tinggi *stern tunnels* sebesar 16% dan panjang *stern tunnels* 7 m.

### 5.2. Saran

Adapun saran- saran yang dapat dilakukan terhadap analisa ini adalah sebagai berikut:



1. Melakukan analisa penambahan *stern tunnels* dengan variasi bentuk *stern tunnels* yang berbeda.
2. Dari penelitian ini dapat dikembangkan untuk kajian efek penambahan *stern tunnels* terhadap gaya *thrust* dan torsi *propeller* kapal.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Altar, Mahmet. 2013 *Anti-slamming bulbous bow and Tunnel Stern Applications on a Novel Deep-v Catamaran for improved Performance*. JNAOE (Int. J. Naval Archit. Ocean Eng). Pp 302~312
- [2] Harvald. S.S. (1983). *Resistance and Propulsion of Ships*. New York: John Wiley and Sons.
- [3] Molland, A.F. (2008), *A Guide to Ship Design, Construction and Operation, The Maritime Engineering Reference Book*, Butterworth- Heinemann, Elsevier.
- [4] Lewis, Edward, V. 1988. Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME), *Principles of Naval Architecture Vol. II, Resistance and Propulsion*. New Jersey.