

Kajian Interferensi Koefisien Hambatan pada Lambung Katamaran melalui Komputasi 'Slender Body Method'

Andi Jamaluddin¹⁾, I Ketut Aria Pria Utama²⁾ dan M.Arief Hamdani³⁾

¹⁾Peneliti, UPT. Balai Pengkajian dan Penelitian Hidrodinamika, BPPT
(Mahasiswa Program S-3, Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS)

²⁾Professor, Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS

³⁾Mahasiswa Program S-1, Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS

Abstrak

The past decade has witnessed a rapid growth of interest in the development of fast catamaran for various applications. The paper describes the study of interference resistance components on demihull separation. Catamarans or twin-hull vessels may be formed either by connecting two symmetrical demihulls or by splitting a mono hull into two halves to form two asymmetric demihulls. The slender body method in HullSpeed- Maxsurf Program was used for predicting the resistance components. The method assumes that the ship's beam is small compared to its length. Effect of resistance interference components on catamaran hull separations are explained and discussed with some work from other published data, which shows good agreement.

Key words: interference resistance, slender body method, demihull catamaran.

1. Pendahuluan

Penelitian tentang hambatan dan propulsi pada lambung kapal katamaran atau *twin hull* belakangan ini mengalami peningkatan seiring pesatnya pembangunan kapal katamaran untuk berbagai aplikasi antara lain *ferry*, *fishing boat*, *research vessel* [1]. Suatu hal yang membuat kapal katamaran menjadi populer dan sukses digunakan karena tersedianya area geladak (*deck area*) yang lebih luas dan tingkat stabilitas yang lebih nyaman dan aman [2]. Disamping itu katamaran dengan bentuk badan yang langsing (*slender*) dapat memperkecil timbulnya sibakan air (*wave wash*) dibanding kapal monohull [3].

Salah satu aspek yang perlu diperhatikan pada kapal katamaran adalah keakurasian dalam mengestimasi hambatan pada tahapan awal proses disain, dimana hambatan kapal merupakan aspek yang sangat penting diketahui untuk menghitung daya mesin suatu kapal.

Hambatan lambung kapal katamaran masih terus dibahas dan didiskusikan dalam forum ilmiah karena komponen hambatannya lebih kompleks dibanding kapal monohull (satu lambung), yang mana disebabkan rumitnya efek interferensi viskos dan gelombang yang terjadi akibat adanya efek interaksi di antara kedua lambung kapal katamaran [4]. Interferensi aliran yang ditimbulkan oleh kedua lambung kapal tersebut menjadi fenomena yang kompleks dan fenomena tersebut hingga saat ini masih merupakan kajian yang menarik bagi para peneliti bidang *multihulls* (*catamaran* dan *trimaran*), khususnya dalam rangka memperkaya dan memperkuat data base untuk tujuan saintifik.

Untuk mengetahui fenomena interferensi hambatan pada lambung katamaran, maka dilakukan perhitungan dan komputasi berdasarkan 'slender body method' dengan menggunakan program 'Hullspeed-Maxsurf'. Disamping itu juga dibahas perihal karakteristik gelombang (*wave pattern*) yang ditimbulkan oleh gerakan laju lambung kapal melalui program 'Shipflow' yang terdapat pada program Maxsurf tersebut [5]. Beberapa seri komputasi yang dilakukan terhadap *demihull* dan lambung katamaran baik untuk lambung yang simetris maupun yang tak simetris pada beberapa variasi bilangan *Froude*.

2. Slender Body Method dan Wave Pattern

Slender body method diaplikasikan untuk perhitungan hambatan lambung kapal *monohull* dan *multihull*, dengan mengasumsikan lambung kapal berbentuk simetris dan pipih dimana rasio antara panjang dan lebar kapal yang besar ($L/V^{1/3} > 4.0$). Pada program 'Hullspeed-Maxsurf', metode *Slender Body* didasarkan pada penelitian Tuck [6] dan Couser [7], dengan menggunakan dasar pendekatan

Michell [5] untuk menghitung hambatan gelombang dengan bilangan *Froude* <1.0 . Michell [5] mengekspresikan hambatan gelombang dari dinding tipis samping lambung kapal sebagai:

$$R_w = \frac{4}{\pi} \rho V^2 v^2 \int_1^\infty \frac{\lambda^2}{\sqrt{\lambda^2 - 1}} |A(\lambda)|^2 d\lambda \quad (1)$$

dimana

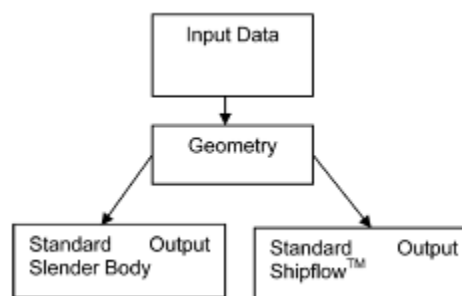
$$A(\lambda) = -iv\lambda \int e^{v\lambda^2 z + iv\lambda x} f(x, z) dz dx$$

V adalah kecepatan kapal, ρ density air, $v = g/V^2$, g gravitasi, $f(x, z)$ setengah dari lebar kapal, x koordinat memanjang (+ kedepan), z koordinat vertikal (dari permukaan air, + keatas), λ bidang basah kapal dibawah permukaan.

Metode tersebut menghitung *energy wave pattern* di permukaan air sebagai akibat gerak laju kapal, yang disebut hambatan gelombang. Dalam menghitung total hambatan, program ini menambahkan komponen hambatan viskos dengan menggunakan metode perhitungan koefisien hambatan gesek dan spesifikasi *form factor* tertentu. Perhitungan hambatan gesek umumnya menggunakan garis korelasi ITTC-1957 yang diperlihatkan pada persamaan (2).

$$C_F = \frac{0.075}{(\log_{10}(Re) - 2)^2} \quad (2)$$

Pada komputasi ini, juga dapat dilakukan kajian karakteristik gelombang (*wave pattern*) di sekitar lambung kapal pada permukaan air melalui sub-program 'ShipFlow-CFD'. Gambar 1 memperlihatkan *flow chart* komputasi pada program 'Hullspeed-Maxsurf'.



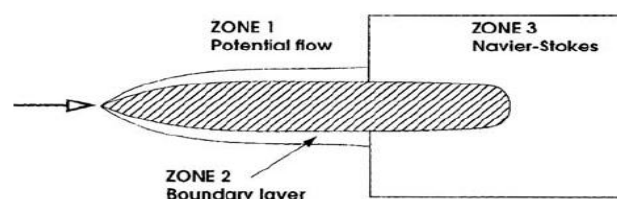
Gambar 1. Flow chart prosedur komputasi hambatan pada program Maxsurf.

Program *ShipFlow* mengaplikasikan 3 (tiga) metode utama yang terdiri atas bagian (*zona*) tertentu:

Zona 1: *Potential flow method*.

Zona 2: *Boundary layer method*.

Zona 3: *Navier–Stokes method*.

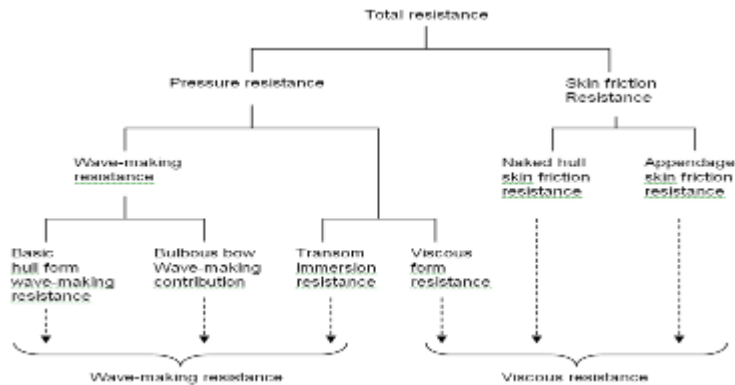


Gambar 2. Distribusi zona dalam perhitungan aliran fluida pada SHIPFLOW [8]

Metode *potential flow* digunakan untuk menganalisa aliran fluida pada bidang permukaan bebas pada zona-1, lihat Gambar 2. Di zona ini aliran fluida mengalir secara kontinyu dari depan kapal (*bow*) dan menerus ke buritan kapal (*stern*). Daerah permukaan bebas yang menggambarkan lapisan batas tipis di sepanjang lambung kapal didefinisikan sebagai zona-2. Teori *boundary layer* digunakan untuk menghitung karakteristik fluida di zona-2. Daerah sisa permukaan bebas sepenuhnya *turbulent* dan terjadi *wake*, didefinisikan sebagai zona-3 dan memanjang jauh kebelakang dari titik peralihan, biasanya di *amidships*. Teori *Navier–Stokes* diaplikasikan di zona ini untuk menghitung energi dan hambatan yang terjadi.

3. Komponen Koefisien Interaksi Hambatan pada Lambung Katamaran

Hambatan kapal katamaran diasumsikan sebagai penjumlahan dari beberapa komponen yang saling tidak bergantung agar memudahkan dalam pemecahan masalah hambatan kapal dan pengaruh jarak antara lambung (*hull separation*). Pembagian komponen hambatan, secara skematik, diperlihatkan pada diagram dibawah ini.



Gambar 3. Diagram Komponen Hambatan Kapal [9]

Pada bagian ini diuraikan komponen koefisien interaksi hambatan pada *demihull* (*catamaran*) adalah sebagai berikut:

$$(C_T)_{CAT} = (1 + \phi k) \sigma C_F + \tau C_W \quad (3)$$

dimana:

- ϕ Faktor interferensi hambatan bentuk (*form*), yang diakibatkan oleh perubahan tekanan yang terjadi antara dua lambung.
- σ Faktor interferensi hambatan gesek (*friction*), yang diakibatkan oleh terjadinya penambahan kecepatan aliran diantara dua lambung.
- τ Faktor interferensi hambatan gelombang (*wave*), yang diakibatkan oleh pertemuan dua moda gelombang (dari haluan) diantara kedua lambung.

Diketahui bahwa faktor interferensi ϕ dan σ sangat rumit dan kompleks dalam pemecahannya, maka Insel dan Molland [10] memperkenalkan faktor β untuk mengkombinasikan faktor interferensi ϕ dan σ ke dalam interferensi hambatan viskos untuk tujuan praktis, menjadi:

$$(C_T)_{CAT} = (1 + \beta k) C_F + \tau C_W \quad (4)$$

Persamaan diatas diaplikasikan secara luas untuk perhitungan hambatan lambung katamaran hingga saat ini, termasuk dalam aplikasi software program '*Hullspeed-Maxsurf*', '*NavCad*' dan lain-lain.

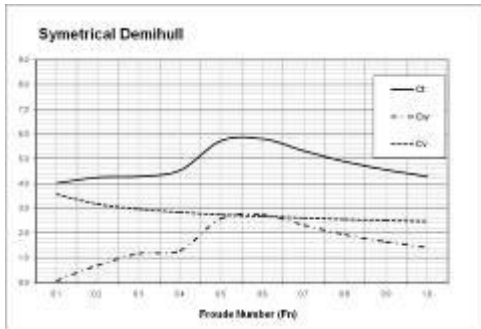
4. Hasil Komputasi '*Slender Body Method*'

Untuk memudahkan pemecahan interferensi komponen hambatan, maka dalam simulasi perhitungan dibagi menjadi 2 bagian:

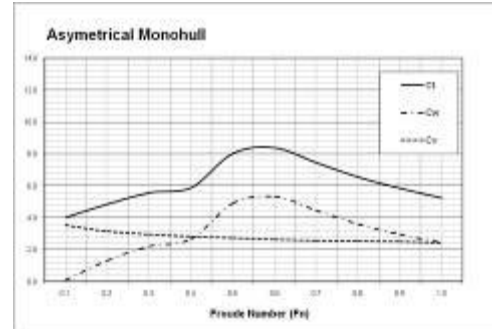
- a) Perhitungan komponen hambatan pada *demihull*, dengan menggunakan *form factor* (1+k)
- b) Perhitungan komponen hambatan lambung katamaran, baik untuk lambung yang simetris maupun lambung tak simetris, dengan menggunakan *form factor* (1+ β k).

4.1. Perhitungan Komponen Hambatan pada *Demihull* (*monohull*)

Gambar 4 dan 5 memperlihatkan hasil perhitungan komponen koefisien hambatan dengan menggunakan metode Holtrop & Mennen [11], dimana nilai *form factor*-nya (1+k)= 1.21.



Gambar 4. Komponen koefisien hambatan lambung *symetrical demihull*



Gambar 5. Komponen koefisien hambatan lambung *asymetrical demihull*.

Hasil diatas memperlihatkan bahwa *form factor* ($1+k$) pada hambatan viskos tidak bergantung pada kecepatan, sebagaimana juga dikemukakan oleh Sahoo [8].

Menurut Tuck dan Lazauskas [12] bahwa untuk bentuk lambung yang pipih, hambatan viskos (yang didominasi hambatan gesek) bertambah seiring dengan bertambahnya panjang lambung kapal. Dengan penambahan panjang atau luas bidang basah maka gaya gesek permukaanpun akan bertambah. Sedangkan untuk hambatan gelombang, umumnya, menjadi kecil dengan penambahan panjang lambung kapal (untuk displasemen yang tetap),

4.2. Perhitungan Komponen Hambatan pada Lambung *Catamaran*

Pada metode '*slender hull*', *Form factor* untuk lambung katamaran dihitung berdasarkan metode *form factor* yang diperkenalkan oleh Molland [5], juga dibahas oleh Utama [13] serta Utama dan Molland [14]:

$$(1+\beta k) = 3.03 (L/V^{1/3})^{-0.04} \quad (5)$$

Nilai *form factor* untuk karakteristik geometri *demihull* yang diamati adalah $(1+\beta k) = 1.38$. Bentuk geometri lambung katamaran yang simetris (*Symetrical Catamaran*) dan tak simetris (*Asymetrical Catamaran*) disajikan pada Tabel 1 dan Gambar 6.

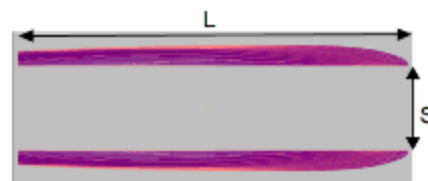
Tabel 1. Ukuran dan Rasio Geometri Lambung Katamaran

Catamaran Hull Form	C_b	$L/V^{1/3}$	L/B	B/T
Symetrical Monohull (NPL 4a)	0.573	7.16	10.73	1.58
Asymetrical Monohull (NPL 4a)	0.604	7.16	20.62	0.54

Sarat (T) dan lebar (B) lambung *symetrical* dan *asymetrical catamaran* adalah tidak sama, tetapi kedua lambung tersebut memiliki displasemen (Δ) yang sama.



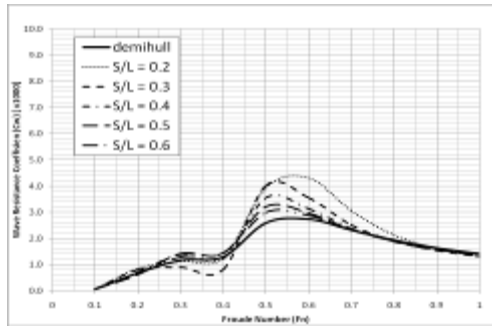
Gambar 6a. *Symetrical Catamaran*



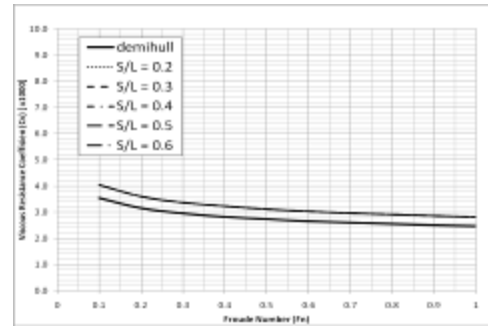
Gambar 6b. *Asymetrical Catamaran*

4.2.1. Komponen Hambatan pada Lambung *Symetrical Catamaran*

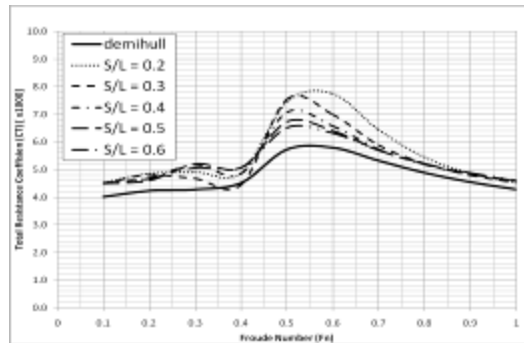
Gambar 7 memperlihatkan komponen koefisien hambatan (C_w, C_v dan C_T) untuk beberapa variasi jarak antara lambung ($S/L = 0.2 - 0.6$). Koefisien hambatan viskos (C_v) adalah konstan terhadap kecepatan dan fenomena ini juga dinyatakan oleh Insel [12] dari hasil analisa interaksi viskos yang menunjukkan bahwa *form factor* bervariasi terhadap perubahan jarak antara demihull (S/L), tetapi tidak terhadap kecepatan. Sedangkan koefisien hambatan gelombang (C_w) semakin besar dengan bertambah besarnya jarak antara lambung (S/L). Dari hasil perhitungan diperoleh besar faktor interferensi hambatan gelombang (τ) adalah $1.15 - 1.58$ pada $Fn = 0.45 - 0.75$. Sedangkan pada $Fn > 0.8$, faktor interferensi hambatan gelombang lebih kecil dan cenderung konstan.



Gambar 7a. Koefisien Hambatan Gelombang



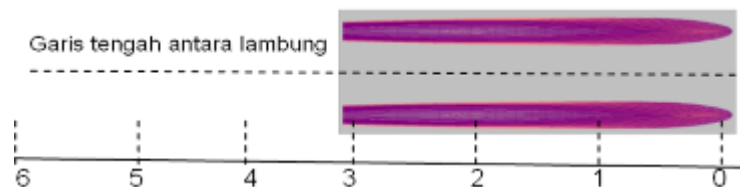
Gambar 7b. Koefisien Hambatan Gesek



Gambar 7c. Koefisien Hambatan Total (*Symetrical Catamaran*).

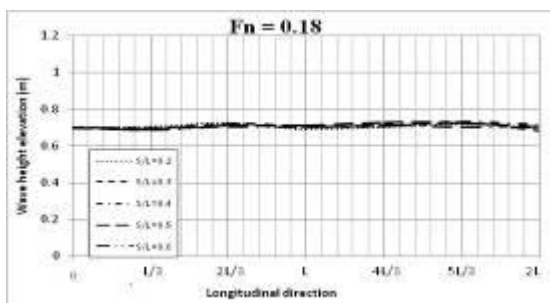
Semakin besar perubahan jarak antara lambung maka semakin kecil koefisien hambatan totalnya, dimana tekanan aliran dan elevasi gelombang yang terjadi diantara kedua lambung semakin kecil pula [4].

Untuk mengetahui lebih detail interaksi gelombang (*wave pattern*) yang terjadi terhadap perubahan jarak antara lambung kapal, maka dilakukan kajian ketinggian (elevasi) interaksi gelombang pada garis tengah jarak antara lambung disepanjang kapal (*longitudinal direction*), lihat Gambar 8.

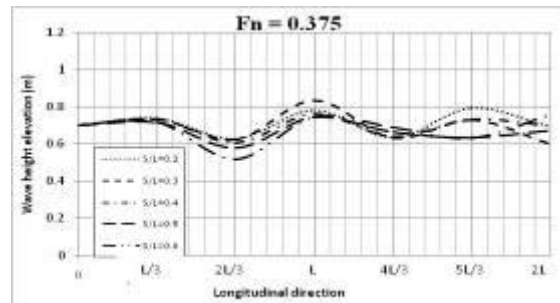


Gambar 8. Koordinat arah *longitudinal* dan *vertical* yang diamati.

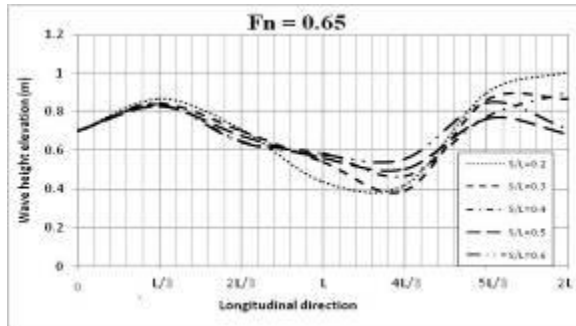
Hasil simulasi '*wave pattern*' untuk lambung *symetrical catamaran* dengan variasi jarak antara lambung ($S/L=0.2 - 0.6$) pada bilangan Froude 0.18, 0.375 dan 0.65 dapat dilihat pada Gambar 9. Pada kecepatan rendah ($Fn=0.18$), perubahan elevasi gelombang di antara kedua lambung adalah cukup kecil dan konstan. Sedangkan pada kecepatan yang lebih tinggi ($Fn=0.375$ dan $Fn=0.65$), terjadi perubahan ketinggian elevasi gelombang (*wave making*) yang cukup signifikan, khususnya pada $Fn=0.65$.



Gambar 9a. Tinggi elevasi gelombang pada $Fn=0.18$



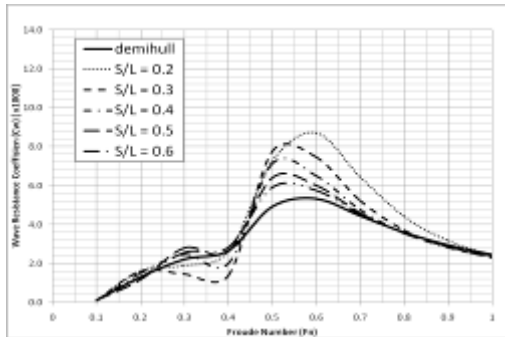
Gambar 9b. Tinggi elevasi gelombang pada $Fn=0.375$



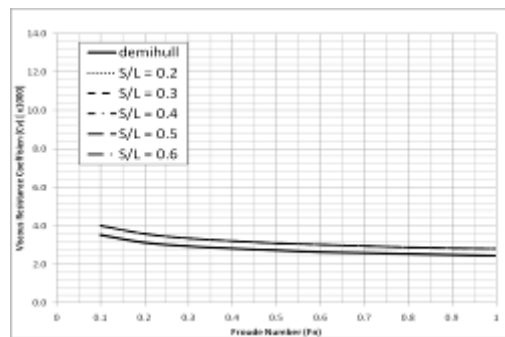
Gambar 9c. Tinggi elevasi gelombang (*Symmetrical Catamaran*) pada $F_n = 0.65$

4.2.2. Komponen Hambatan pada Lambung *Asymmetrical Catamaran*

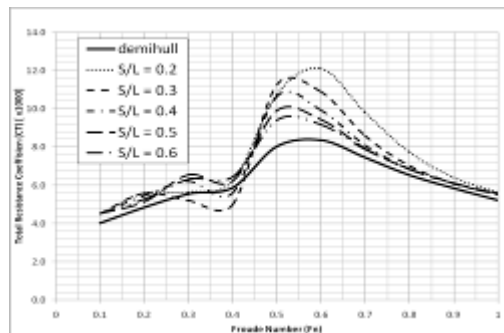
Komponen koefisien hambatan untuk variasi perubahan jarak antara lambung *asymmetrical catamaran* (S/L) pada variasi bilangan *Froude* (F_n) dapat dilihat pada Gambar 10. Dari hasil tabulasi C_w pada variasi perubahan jarak antara lambung ($S/L = 0.2 - 0.6$) diperoleh besar faktor interferensi hambatan gelombang (τ) adalah 1.20 – 1.58 pada $F_n = 0.45 - 0.75$.



Gambar 10a. Koefisien Hambatan Gelombang

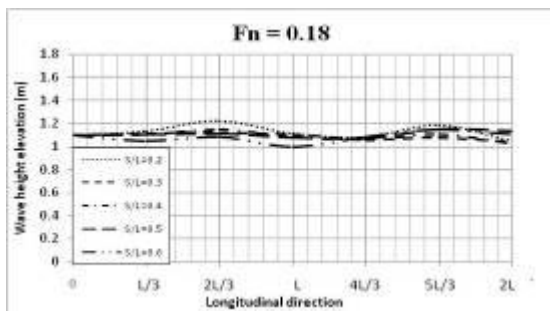


Gambar 10b. Koefisien Hambatan Gesek

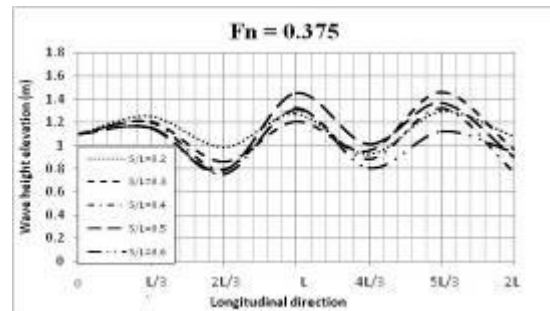


Gambar 10c. Koefisien Hambatan Total (*Asymmetrical Catamaran*).

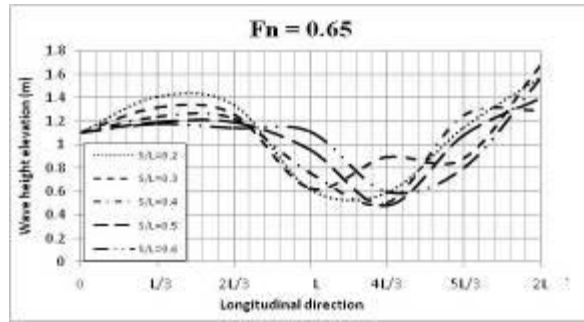
Gambar 11 memperlihatkan perubahan ketinggian elevasi gelombang akibat perubahan jarak antara lambung kapal. Pada kecepatan rendah ($F_n = 0.18$), perubahan elevasi interaksi gelombang diantara kedua lambung adalah cukup kecil dan konstan. Sedangkan pada kecepatan yang lebih tinggi ($F_n = 0.375$ dan $F_n = 0.65$), terjadi perubahan ketinggian elevasi gelombang yang cukup signifikan.



Gambar 11a. Tinggi elevasi gelombang pada $F_n = 0.18$



Gambar 11b. Tinggi elevasi gelombang pada $F_n = 0.375$



Gambar 11c. Tinggi elevasi gelombang (*Asymmetrical Catamaran*) pada $Fn=0.65$

5. Pembahasan Interferensi Koefisien Hambatan pada Lambung Katamaran.

Dalam perhitungan '*slender body method*' pada program '*Hullspeed-Maxsurf*', efek interferensi akibat adanya jarak antara dua lambung (*catamaran*) terhadap hambatan gesek (*friction*) dapat diekspresikan dengan modifikasi faktor β pada *form factor*. Nilai *form factor* untuk bentuk geometri lambung katamaran yang diamati diperoleh:

$$\begin{aligned} \text{Demihull } (1+k) &= 1.21 \\ \text{Catamaran } (1+\beta k) &= 1.38 \end{aligned}$$

Nilai *form factor* diasumsikan konstan terhadap bilangan Froude (Fn) dan jarak antara lambung (S/L), dan nilai tersebut hanya bergantung pada bentuk geometri lambung ($L/V^{1/3}$). Sedangkan nilai faktor interferensi hambatan gelombang (τ) bervariasi terhadap S/L .

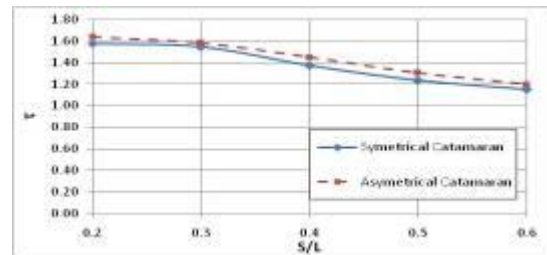
Nilai interferensi hambatan gelombang (τ) untuk lambung *catamaran* (*symmetrical* dan *asymmetrical*) terhadap variasi perubahan jarak antara lambung (S/L) dihitung dengan persamaan [8].

$$\tau = \frac{C_{W_{CAT}}}{C_{W_{DEMI}}} = \frac{[C_T - (1 + \beta k)C_F]_{CAT}}{[C_T - (1 + k)C_F]_{DEMI}} \tag{6}$$

Tabel 2 memperlihatkan nilai faktor interferensi hambatan gelombang (τ) untuk variasi S/L . Semakin besar perubahan jarak antara lambung (S/L) maka semakin kecil faktor interferensi hambatan gelombang (τ) yang terjadi pada lambung katamaran.

Tabel 2. Faktor interferensi hambatan gelombang (τ)

S/L	τ_{Sym}	τ_{Asym}
0.2	1.577	1.635
0.3	1.548	1.582
0.4	1.371	1.453
0.5	1.236	1.306
0.6	1.152	1.204



Gambar 12. Faktor Interferensi Hambatan Gelombang pada Lambung *Catamaran*

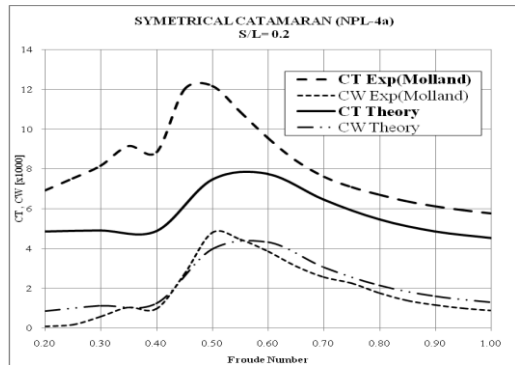
Gambar 12 memperlihatkan kurva komponen nilai faktor τ yang menunjukkan '*trend*' yang sama untuk kedua lambung *symmetrical* dan *asymmetrical catamaran*. Namun demikian, nilai faktor interferensi hambatan gelombang (τ) untuk lambung *asymmetrical catamaran* lebih besar hingga 6% dari pada *symmetrical catamaran* karena lambung *asymmetrical catamaran* memiliki sarat yang lebih besar dari *symmetrical catamaran* walaupun kedua lambung mempunyai displasemen yang sama.

Subramanian et.al [15] menyatakan bahwa nilai τ semakin besar dengan bertambahnya bilangan *Froude* dan memperkenalkan persamaan regresi dari Pham untuk menghitung koefisien hambatan gelombang (C_w) terhadap perubahan jarak antara lambung (S/L) untuk semua bilangan *Froude* (Fn):

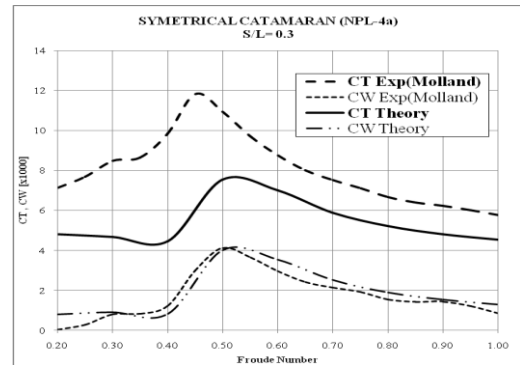
$$C_w = \exp(\alpha) (L/B)^{\beta_1} (B/T)^{\beta_2} C_B^{\beta_3} (S/L)^{\beta_4} \tag{7}$$

dimana koefisien regresi α , β_1 , β_2 , β_3 , dan β_4 diperoleh dari hasil analisa regresi.

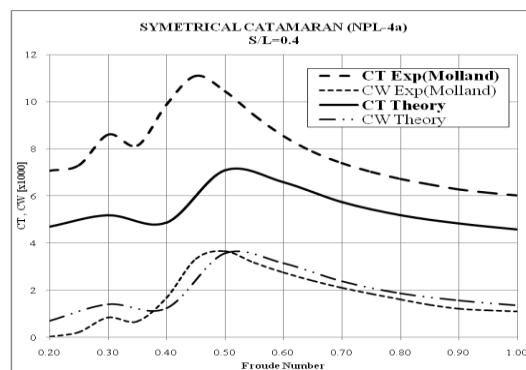
Perbandingan hasil komputasi 'slender body method' (*theory*) dan hasil kajian Molland (*experiment*) [16] dapat dilihat pada Gambar 13. Dari perbandingan hasil tersebut, diperoleh koefisien hambatan gelombang (C_W) mendekati sama antara hasil eksperimen dan teori. Sedangkan untuk koefisien hambatan total (C_T) memperlihatkan hasil eksperimen lebih besar 25% dari hasil teori pada $Fn < 0.5$. Pada kecepatan yang lebih tinggi, $Fn > 0.55$, selisih koefisien hambatan totalnya lebih kecil. Perbedaan koefisien hambatan total diatas disebabkan karena pada komputasi teori diasumsikan faktor hambatan viskos ($1+\beta_k$) adalah konstan terhadap Fn dan S/L . Disamping itu keterbatasan teori (*slender body*) pada beberapa pendekatan empiris yang digunakan, khususnya masalah *viscous flow* dan efek interaksi aliran air disekitar lambung kapal



Gambar 13a. Nilai C_T dan C_W pada $S/L=0.2$



Gambar 13b. Nilai C_T dan C_W pada $S/L=0.3$



Gambar 13a. Nilai C_T dan C_W pada $S/L=0.4$

6. Kesimpulan

Dari hasil komputasi '*slender body method*' untuk mengkaji komponen interferensi hambatan pada lambung katamaran, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Komponen koefisien hambatan lambung *symmetrical catamaran* adalah lebih kecil dibanding dengan lambung *asymetrical catamaran* untuk displacement yang sama.
- Faktor interferensi hambatan gelombang (τ) bervariasi terhadap S/L , dimana nilai τ semakin kecil dengan membesarnya perubahan jarak antara lambung (S/L).
- Perubahan elevasi gelombang (*wave patern*) diantara kedua lambung katamaran adalah cukup kecil dan cenderung konstan pada kecepatan rendah ($Fn= 0.18$). Sedangkan pada kecepatan yang lebih tinggi ($Fn= 0.375$ dan $Fn= 0.65$), terjadi fluktuasi perubahan ketinggian interaksi gelombang yang cukup signifikan.
- Koefisien hambatan gelombang (C_W) dari hasil teori (*slender body method*) dan eksperimen oleh Molland et al.[16] menunjukkan 'trend' yang sama. Sedangkan koefisien hambatan total (C_T) dari eksperimen lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Utama, I.K.A.P., Murdijanto, Hairul, Jamaluddin, A. (2009), *Development of Efficient and Environmentally Friendly Vessel Using Multihull Configuration*, World Ocean Conference (WOC), May 11-13, Manado.
- [2]. Groleau, S., Revord, J., Robins, T., and Vandedrinck, B. (2007), *CODAC: Coastal Operation Data Acquisition Catamaran*, Naval Architecture Research Group, Ocean Engineering Design, Final Report 2007, Florida Institute of Technology.
- [3]. Jamaluddin, A. dan Utama, I.K.A.P. (2009), *Kajian Komponen Hambatan dan Pengaruh Interferensi antara Lambung Kapal Katamaran*, Seminar Nasional: Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan (SENTA-2009), 17 Desember, ITS- Surabaya.
- [4]. Insel, M. (1990), *An Investigation into the Resistance Components of High Speed Displacement Catamarans*, PhD Thesis, Faculty of Engineering and Applied Science, University of Southampton, U.K.
- [5]. User Manual, *Hullspeed-Maxsurf*, Formation Design Systems Pty Ltd 1984 – 2006
- [6]. Tuck, E.O., Luzauskas, L. and Scullen, D.C. (1999), *Sea Wave Pattern Evaluation. Part 1, Report: Primary Code and Test Results (Surface Vessels)*. Applied Mathematics Department, The University of Adelaide. 30 April 1999 also available from: <http://www.cyberiad.net/library/pdf/tls99.pdf> (January 2005)
- [7]. Couser, P. (1996), *An investigation into the performance of high-speed catamarans in calm water and waves*, PhD thesis, Department of Ship Science, University of Southampton.
- [8]. Sahoo, P.K., Salas, M. and Schwetz, A. (2007), *Practical evaluation of resistance of high-speed catamaran hull forms – Part I*, Ships and Offshore Structures, 2:4, 307 – 324.
- [9]. Molland, A.F. (2008), *A Guide to Ship Design, Construction and Operation*, The Maritime Engineering Reference Book, Butterworth- Heinemann, Elsevier.
- [10]. Insel, M., Molland, A.F. (1991). *An investigation into the resistance components of high speed displacement catamaran*, Royal Institution of Naval Architects, Spring Meeting, paper No. 11.
- [11]. Holtrop, J. and Mennen, G.G.J. (1982), *An Approximate Power Prediction Method*, NSMB Paper 689.
- [12]. Tuck, E.O., and Luzauskas, L. (1996), *Unconstrained Ships of Minimum Total Drag*, Dept. of Applied Mathematics. The University of Adelaide. South Australia 5005. Australia.
- [13]. Utama, I.K.A.P. (1999), *Investigation of the Viscous Resistance Components of Catamaran Forms*, PhD Thesis, Faculty of Engineering and Applied Science, University of Southampton, U.K.
- [14]. Utama, I.K.A.P., and Molland, A.F. (2001), *Experimental and Numerical Investigations into Catamaran Viscous Resistance*, FAST'2001, Southampton, U.K.
- [15]. Subramanian, V.A., Dhinesh, G. and Deepti, J.M. (2006), *Resistance of Optimization of Hard Chine High Speed Catamaran*, The Journal of Ocean Technology, Canada's Arctic. Vol.1, No.1
- [16]. Molland, A.F., Wellicome, J.F., and Couser, P.R. (1994), *Resistance Experiments on a Systematic Series of High Speed Displacement Catamaran Forms: Variations of Length-Displacement Ratio and Breadth-Draught Ratio*, Ship Science Report No.71, University of Southampton, UK.