

# KAJIAN EKSPERIMEN *VISCOUS FORM FACTOR* PADA HAMBATAN KAPAL KATAMARAN

## *Experimental Studies Viscous Form Factor On Resistance Catamaran Vessels*

**Andi Jamaluddin dan Dewi Kentjanawati**

UPT Balai Pengkajian dan Penelitian Hidrodinamika, BPPT

Email : andi99@engineer.com

Diterima: 2 Mei 2013; Direvisi: 20 Mei 2013; Disetujui: 28 Mei 2013

### **Abstrak**

Kapal katamaran saat ini banyak menarik perhatian karena memiliki tingkat efisiensi dan performansi hidrodinamika yang lebih baik dibandingkan dengan kapal konvensional (bentuk *monohull*). Salah satu tantangan yang dihadapi oleh para pakar perkapalan adalah memprediksi secara akurat karakteristik hidrodinamika hambatannya. Makalah ini mengkaji secara eksperimental di kolam tarik (*towing tank*) untuk mendapatkan nilai *viscous form factor* pada lambung kapal katamaran pada beberapa variasi kecepatan. *Viscous form factor* merupakan komponen hambatan yang penting dalam menghitung hambatan viskos kapal. Model uji adalah katamaran simetris dengan beberapa bervariasi jarak antara lambung. Hasil pengujian di *towing tank* dibandingkan dengan hasil uji di terowongan angin (*wind tunnel*). Hasil uji model disajikan dalam bentuk tabel dan grafik dan didiskusikan dengan beberapa hasil kajian para pakar lainnya. Pada penelitian eksperimental ini, hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa *viscous form factor* pada lambung katamaran adalah lebih besar dibandingkan *demihull*. Fenomena ini menunjukkan adanya efek interaksi hambatan yang ditimbulkan oleh jarak antara lambung. Disamping itu, semakin besar jarak antara lambung maka semakin kecil nilai *viscous form factor*-nya. Fenomena ini dapat dijadikan masukan bagi para *designer* dalam memprediksi total hambatan kapal dan selanjutnya menentukan besar daya mesin kapal katamaran secara akurat dan rasional.

**Kata kunci :** eksperimen, *viscous form factor*, hambatan, katamaran.

### **Abstract**

Catamaran vessels are currently of interest for many new high speed ship projects due to the high levels of hydrodynamics efficiency that can be achieved compared to monohull form. One of the challenges faced by naval architects is accurate prediction of the hydrodynamic resistance characteristics. This paper investigates experimentally a viscous form factor for catamaran in towing tank for varied model speeds. This viscous form factor is important part to determine the ship viscous resistance. The model hull forms comprise a symmetrical catamaran along with laterally separated configurations. The test results in towing tank was compared with results in wind tunnel test. These results are presented in tables and graphical form and discussed with some published values. Throughout of this experimental study, the results obtained have shown that the viscous form factor of catamaran is significantly greater than the demihull. This phenomenon indicates the existence of interaction resistance effects caused by the distance between the hull. In addition, the greater the distance between the hull, the smaller the value of its viscous form factor. This phenomenon can be used as input for the designers in predicting the total resistance of the ship and then determine the engine power catamaran accurately and rationally.

**Keywords :** *experiment, viscous form factor, resistance, catamaran*

**PENDAHULUAN**

Dalam tiga dasawarsa terakhir terdapat peningkatan yang pesat akan kebutuhan kapal katamaran (berbada ganda) untuk aplikasi kapal penumpang (*ferries*), sarana olahraga (*sporting craft*) dan kapal riset oseanografi (*oceanographic research vessels*) serta kapal penangkap ikan (*trawlers*). Kelebihan mendasar dari kapal-kapal jenis ini dibandingkan kapal-kapal berbadan tunggal (*monohulls*) adalah tata letak akomodasi yang lebih menarik, adanya peningkatan stabilitas melintang dan dalam sejumlah kasus mampu mengurangi hambatan/tenaga penggerak kapal pada kecepatan tertentu (Moraes, et al,2007; Dubrovsky, et al,2005).

Penelitian tentang kapal katamaran hingga saat ini masih terus berkembang dan didiskusikan dalam forum ilmiah (Sahoo, et al,2007; Yeung,et al, 2008; Zaghi,et al, 2011). Katamaran memberikan fenomena yang menarik untuk dikaji dan diteliti lebih lanjut pada aspek hambatannya, seperti nilai *viscous form factor*. *Viscous form factor* ( $1+k$ ) dan hambatan gesek ( $R_F$ ) merupakan komponen hambatan viskos ( $R_V$ ). Nilai ( $1+k$ ) merupakan suatu variabel hambatan dengan memasukkan faktor 3-dimensi (permukaan lengkung) sesuai bentuk/ geometri lambung kapal. Variabel ( $1+k$ ) adalah penyempurnaan dari pendekatan 2-dimensi (permukaan datar) oleh Froude. Nilai  $(1+k)R_F$  disebut hambatan viskos untuk kapal konvensional (*monohull*) dan  $(1+\beta k)R_F$  untuk kapal katamaran ( $R_V$ ).

Pada tahun 1957, ITTC (*International Towing Tank Conference*) memberikan rekomendasi penggunaan formulasi koefisien hambatan gesek  $C_F$ . Formulasi tersebut diberi nama garis korelasi model – kapal, dan bukan merupakan garis hambatan gesek yang mewakili hambatan gesek permukaan tidak datar atau lengkung. Hughes (1954) memperkenalkan definisi faktor bentuk (*form factor*) untuk menentukan harga  $C_F$  pada permukaan yang tidak datar.

Nilai *viscous form factor* pada lambung kapal dapat diketahui melalui eksperimen di *towing tank*, UPT.BPPH - BPPT, dengan kecepatan rendah, pada nilai bilangan Froude  $Fr < 0.2$ , dimana pada kondisi tersebut tidak menimbulkan *wave-making* disekitar lambung kapal sehingga hambatan gelombang dapat diabaikan (nol). Pada eksperimen ini, diuji tipe model lambung kapal katamaran simetris dengan jarak melintang antara lambung yang bervariasi ( $S/L = 0.2, 0.3$  dan  $0.4$ ). *Viscous form factor* ( $1+\beta k$ ) lambung katamaran memiliki fenomena yang lebih kompleks dibanding dengan *viscous form factor* ( $1+k$ ) lambung *monohull* atau demihull (satu lambung katamaran yang terisolasi). Hal tersebut disebabkan adanya pengaruh interferensi dan interaksi diantara dua lambung kapal katamaran.

Hasil penelitian ini dapat memperkaya dan memperkuat *data base* dalam mempresentasikan pengaruh interaksi antara dua lambung katamaran terhadap nilai viscous form factor dan selanjutnya dapat diaplikasikan secara langsung dalam perhitungan hambatan yang digunakan untuk penentuan tenaga mesin kapal katamaran pada tahapan desain (*preliminary design*).

**KAJIAN PUSTAKA**

*William Froude* pertama kali memperkenalkan total hambatan kapal yang terdiri atas 2 (dua) komponen yaitu hambatan sisa (*residual*) dan hambatan gesek (*friction*). Hambatan gesek kapal diasumsikan sama dengan hambatan pelat datar 2-dimensi yang memiliki luas permukaan bidang basah yang sama serta bergerak di air pada kecepatan sama dengan kecepatan kapal.

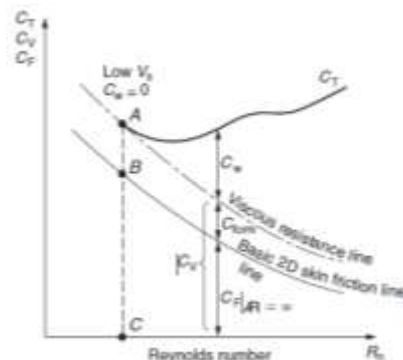
$$C_T = C_F + C_R \tag{2}$$

Hughes (1954 dan 1966) mengemukakan metode baru dalam menentukan hambatan kapal yaitu metode korelasi model - kapal (lihat Gambar 1). dimana total koefisien hambatan adalah penjumlahan dari 3 (tiga) komponen: koefisien hambatan gesek ( $C_F$ ), hambatan bentuk ( $C_{Fo}$ ) dari model dan hambatan gelombang ( $C_W$ ).

$$C_T = C_F + C_{Fo} + C_W \tag{3}$$

dimana  $C_{Fo} = kC_F$ , sehingga persamaan (3) menjadi:

$$C_T = (1+k)C_F + C_W \tag{4}$$



Gambar 1. Metode Hughess untuk uji model hambatan (Molland, 2008)

Berdasarkan Persamaan (4) yang dikemukakan oleh Hughes, bahwa hambatan viskos ( $C_V$ ) dipengaruhi

oleh *form factor* dan hambatan gesek ( $C_F$ ) kapal.

$$C_V = (1+k) C_F \quad (5)$$

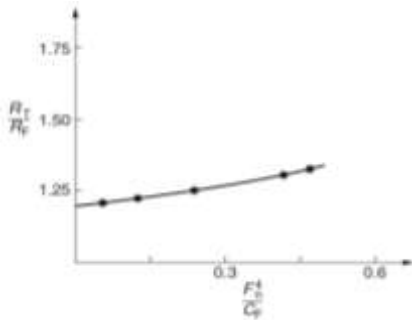
Hambatan gesek  $C_F$  dihitung dengan formula ITTC'57 berdasarkan hambatan di *calm water*:

$$C_F = \frac{0.075}{(\log(\text{Re}) - 2)^2} \quad (6)$$

ITTC merekomendasikan untuk mendapatkan nilai  $k$  adalah melalui pengukuran pada kecepatan rendah dimana  $C_W$  mendekati nol dan  $(1+k)=C_T/C_F$ . Dalam hal ini metode Prohaska (ITTC, 1978; ITTC, 2002; Bertram, 2000) dapat digunakan:

$$C_T = (1+k)C_F + a Fr^n \quad (7)$$

diasumsikan  $C_W = a Fr^n$  untuk kecepatan rendah ( $Fr < 0.2$ ). *Form factor*  $(1+k)$  dihitung melalui *straight-line plot* (lihat Gambar 2) antara  $C_T/C_F$  dan  $Fr^4/C_F$  yang bersinggungan pada  $Fr=0$ , serta faktor  $n = 4 - 6$  dan umumnya digunakan  $n=4$  (Molland dkk, 2011).



Gambar 2. Nilai *form factor*  $(1+k)$ , Metode Prohaska

Dalam metode *form factor*, efek bentuk (*form*) pada hambatan gesek diperhitungkan, sehingga peng-skala-an (*scaling*) antara model dan kapal (*prototype*) dapat dilakukan lebih akurat. Tetapi  $(1+k)$  diasumsikan tidak tergantung pada kecepatan, bilangan *Reynolds* dan *Froude*. Untuk kasus pada model, dimana *transom stern vortices* dan *bilge vortices* dapat terjadi, maka pengaruh bilangan *Reynolds* pada faktor bentuk (*form factor*) dapat dipertimbangkan.

Pada kasus lambung katamaran, fenomena hambatan viskos ( $C_V$ ) menjadi kompleks dimana terjadi interferensi dan interaksi diantara kedua lambung-nya. Besaran faktor ini dipengaruhi pula oleh jarak lambung dan kecepatan, sebagaimana diberikan oleh Insel dan Molland (1991 dan 1992).

$$C_V = (1 + \phi k) \sigma C_F \quad (8)$$

dimana:

$\phi$  Faktor interferensi hambatan bentuk (*form*) akibat

terjadinya perubahan tekanan

$\sigma$  Faktor interferensi hambatan viskos (*viscous*) akibat terjadinya perubahan kecepatan aliran disekitar/diantara lambung katamaran.

Untuk tujuan praktis oleh Insel dan Molland (1992), faktor  $\phi$  dan  $\sigma$  dikombinasikan kedalam interferensi hambatan viskos, yakni faktor  $\beta$ , dimana:

$$(1 + \phi k) \sigma = (1 + \beta k) \quad (9)$$

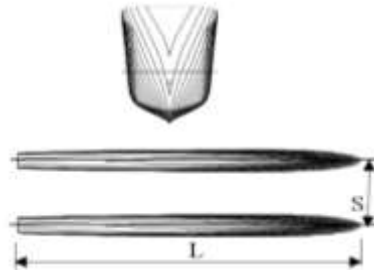
Dengan meng-substitusikan Persamaan (9) ke dalam Persamaan (8), maka koefisien hambatan viskos ( $C_V$ ) menjadi:

$$C_V = (1 + \beta k) C_F \quad (10)$$

## METODOLOGI

### Diskripsi Model

Konfigurasi geometri model uji yang digunakan adalah bentuk lambung simetris (*symmetrical hull*), dengan beberapa variasi jarak antara lambung (secara melintang). Bentuk dan ukuran lambung katamaran dipresentasikan pada Gambar 3 dan Tabel 1.



Gambar 3. Bentuk lambung katamaran

Table 1. Ukuran utama lambung katamaran

Parameter	Demihull	Katamaran	Satuan
$L_{WL}$	1.372	1.372	m
b	0.132	-	m
T	0.078	0.078	m
WSA	0.256	0.521	$m^2$
Volume	0.007	0.014	$m^3$
Displac.	7.023	14.044	kg

### Eksperimen

Pengujian model fisik di *towing tank* dilakukan berdasarkan rekomendasi ITTC (*International Towing Tank Conference*, 2002), baik prosedur pengujian maupun analisa pengukuran. Metode pengukuran

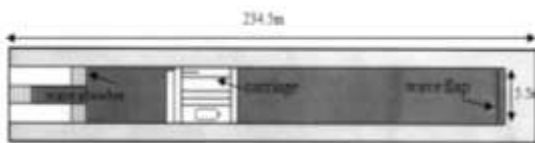
hambatan pada model kapal dilakukan dengan mengukur besarnya total komponen hambatan ( $R_T$ ) dengan *load cell transducer* (terletak di *center line* model kapal), berdasarkan variasi kecepatan dan konfigurasi jarak antara lambung kapal.

Hambatan gesek diperoleh melalui formulasi *ITTC'57 correlation line* ( $C_F$ ) dan *form factor* ( $k$ ) diperoleh melalui uji model kecepatan rendah (*ITTC*, 2002; Bertram, 2000). Nilai *form factor* ( $1+k$ ) untuk *demihull* (satu lambung katamaran) dan *form factor* ( $1+\beta k$ ) untuk lambung katamaran. Hambatan gelombang ( $R_w$ ) dapat diabaikan pada kecepatan rendah  $Fr < 0.2$  (Bertram, 2000; Molland, 2008)

Dimensi laboratorium uji (*towing tank*) berukuran 234.5m panjang, 11m lebar dan 5.5m kedalam air, sebagaimana yang diperlihatkan pada Gambar 4. Kereta tarik (*towing carriage*) digunakan untuk menarik model uji (yang diposisikan dibawah kereta tarik) pada beberapa seri kecepatan, lihat Gambar 5.



(a) Foto *towing tank*



(b) Sketsa *towing tank*

Gambar 4. *Towing tank*

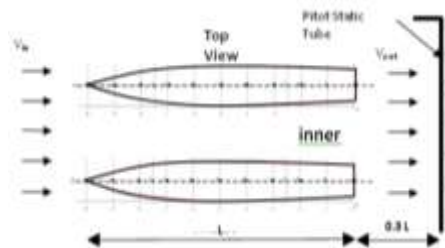


Gambar 5. *Test set-up Model Demihull dan Katamaran di Towing tank*

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil eksperimen di *towing tank* dibandingkan dengan hasil eksperimen di *wind tunnel* (Jamaluddin dan Utama, 2012). Eksperimen di *wind tunnel* menggunakan model dengan konfigurasi yang sama tetapi memiliki skala fisik yang lebih kecil mengingat keterbatasan dimensi *wind tunnel*.

Tekanan pada permukaan model lambung kapal terdiri dari 57 *pressure taps*, yang digunakan untuk menentukan distribusi tekanan disekitar lambung kapal. Profil kecepatan di belakang lambung diukur dengan tabung pitot-statik yang terhubung dengan manometer. Pengukuran dilakukan pada beberapa seri kecepatan  $Re = 2.89 \times 10^5 - 4.46 \times 10^5$  untuk beberapa variasi jarak antara lambung ( $S/L$ ). Hasil pengukuran dikorelasikan dengan nilai *blockage correction* (koreksi kecepatan) pada *wind tunnel*, dimana merupakan fungsi dari faktor bentuk terowongan angin, bentuk lambung kapal yang dihitung berdasarkan persamaan Glauert (Blackwell, 2011). Selanjutnya Gambar 6 memperlihatkan model (*reflex model*) dan *set-up* model di *wind tunnel*.



Gambar 6 Posisi *pitot static tube* di belakang model uji pada *wind tunnel*.

Perbedaan nilai *viscous form factor* dari kedua hasil eksperimen di *towing tank* dan *wind tunnel* adalah sangat kecil, dimana untuk *demihull* 0.7persen dan untuk *catamaran* 0.2 – 0.6 persen. Hasil uji model fisik tersebut menunjukkan bahwa hasil di *towing tank* dan di *wind tunnel* adalah ‘*good agreement*’. Kondisi uji di *towing tank* pada  $Re = 2.78 \times 10^5 - 1.09 \times 10^6$  dan kondisi uji di *wind tunnel*  $Re = 2.89 \times 10^5 - 4.46 \times 10^5$ .

Dari hasil uji *viscous form factor* pada *demihull* dan *catamaran* memperlihatkan bahwa nilai *viscous form factor* untuk lambung katamaran sangat dipengaruhi oleh jarak antara lambung ( $S/L$ ). *Viscous form factor* ( $1+\beta k$ ) untuk lambung katamaran adalah lebih besar dari pada *form factor* ( $1+k$ ) untuk *demihull* (*monohull*). Perbedaan nilai *form factor* pada *demihull* dan *catamaran* terhadap jarak antara lambung adalah 10.4 – 11.7persen. Hal tersebut menjelaskan bahwa pengaruh interaksi viskos terjadi diantara kedua lambung katamaran, sekitar rata-rata 11persen. Hasil

penelitian ini adalah sedikit berbeda dengan hasil penelitian oleh Couser (1997) dan Utama (1999), dimana perbedaan *form factor* untuk *catamaran* sekitar 10persen dibanding lambung *monohull* (*demihull*), karena Couser dan Utama menggunakan seri model katamaran yang berbeda dengan model penelitian ini.

Tabel 2. *Viscous form factor* dari hasil eksperimen di *towing tank* dan *wind tunnel*

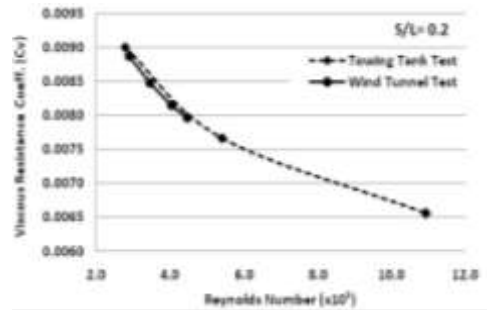
Hull Form	Demihull (1+k)	S/L=0.2		S/L=0.3		S/L=0.4	
		(1+βk)	β	(1+βk)	β	(1+βk)	β
<b>Eksperimen di Towing Tank</b>							
Symmetrical Hull	1.277	1.426	1.538	1.415	1.498	1.410	1.480
<b>Eksperimen di Wind Tunnel</b>							
Symmetrical Hull	1.268	1.417	1.556	1.409	1.526	1.406	1.515

Penelitian model lambung *single* dan *twin ellipsoids* yang dilakukan oleh Utama (1999) diperoleh total hambatan viskos untuk rasio *twin body* dan *single body* adalah 1.1 dan rasio hambatan menurun secara perlahan hingga 1.075 dengan bertambahnya rasio (S/L). *Form factor* (1+k) untuk *single ellipsoid* = 1.22 dan *form factor* (1+βk) untuk *twin ellipsoid* (*catamaran*) = 1.33 – 1.31. *Viscous interaction* yang terjadi pada *twin ellipsoid* (*catamaran*) sebesar 7persen - 10persen dari *single ellipsoid* (*demihull*). Nilai *viscous form factor* dari Utama (1999) adalah lebih kecil dari pada hasil penelitian ini. Hal tersebut dikarenakan model lambung yang digunakan oleh Utama (1999) adalah tipe lambung *ellipsoid*, dimana tipe lambung tersebut tidak memiliki *transom stern*. Sedangkan pada penelitian ini menggunakan model lambung katamaran (*modern*) dan memiliki *transom* sebagaimana lambung kapal pada umumnya.

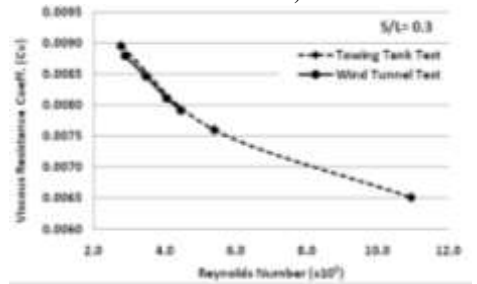
Fenomena *viscous form factor* pada lambung katamaran dipengaruhi oleh perubahan aliran air yang tidak simetris disekitar lambung katamaran, yang disebabkan oleh efek interaksi diantara kedua lambung *demihull* tersebut sehingga kecepatan aliran dan tekanan yang terjadi relatif tidak sama (tidak simetris) terhadap garis tengah (*centerline*) *demihull*.

Insel dan Molland (1992) menyatakan bahwa untuk tujuan praktis dalam pemecahan problem *engineering* yang kompleks saat ini, nilai *form factor* adalah konstan dan tidak bergantung pada kecepatan. Kemudian *viscous form factor* adalah relatif tidak berpengaruh pada kecepatan dan jarak antara lambung (S/L), tetapi lebih bergantung pada rasio panjang dan lebar lambung. Namun dari hasil penelitian ini meng-indikasikan adanya perbedaan nilai *viscous form factor* terhadap rasio S/L, dimana perbedaan nilai *form factor* terhadap rasio S/L untuk lambung simetris <5persen, lihat Gambar 7 - 9. Fenomena ini menunjukkan bahwa pada antara lambung katamaran terjadi interferensi dan interaksi viskos. Perbedaan nilai *form factor* tersebut terhadap perubahan jarak antara lambung (S/L) harus dipertimbangkan dan

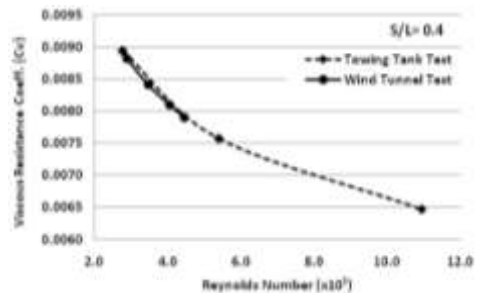
diperhitungkan secara cermat (Jamaluddin, Utama, Molland, 2013).



Gambar 7. Koefisien hambatan viskos pada lambung katamaran S/L=0.2 (Hasil eksperimen *towing tank* dan *wind tunnel*)



Gambar 8. Koefisien hambatan viskos pada lambung katamaran S/L=0.3 (Hasil eksperimen *towing tank* dan *wind tunnel*)



Gambar 9. Koefisien hambatan viskos pada lambung katamaran S/L=0.4 (Hasil eksperimen *towing tank* dan *wind tunnel*)

Nilai *viscous form factor* berpengaruh terhadap jarak antara lambung (S/L) dan meng-indikasikan bahwa semakin besar jarak antara lambung (S/L) semakin kecil nilai *viscous form factor*-nya. Timbulnya interferensi dan interaksi di antara dua lambung katamaran mengakibatkan perbedaan tekanan dan kecepatan aliran diantara lambung katamaran.

Pada bagian dalam (*inner*) di antara kedua *demihull* terjadi peningkatan usikan kecepatan aliran. Peningkatan usikan kecepatan aliran ini menyebabkan perubahan struktur lapisan batas (*boundary layer*) dan juga luas bidang basah pada permukaan lambung. Karena terjadinya perubahan fisik pada struktur lapisan batas (*boundary layer*) serta luas bidang basah lambung katamaran, maka hambatan gesek (*skin friction*) yang dihasilkan juga akan mengalami perubahan dan hal ini akan menyebabkan perubahan nilai *form factor* pada lambung kapal.

### KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil perhitungan dan simulasi, beberapa hal yang dapat disimpulkan bahwa nilai *viscous form factor* berpengaruh terhadap jarak antara lambung (S/L) dan mengindikasikan bahwa semakin besar jarak antara lambung (S/L) semakin kecil nilai *viscous form factor*-nya. Perbedaan nilai *viscous form factor* dari kedua hasil eksperimen di *towing tank* dan *wind tunnel* adalah sangat kecil, dimana untuk *demihull* 0.7 persen dan untuk *catamaran* 0.2 – 0.6 persen. *Form factor* ( $1+\beta k$ ) untuk lambung katamaran lebih besar 10persen dari pada *form factor* ( $1+k$ ) untuk *demihull* (*monohull*). Hal tersebut mengindikasikan adanya pengaruh interaksi dan interferensi viskos terhadap jarak antara lambung (S/L).

### DAFTAR PUSTAKA

- Blackwell, T.J. (2011). *Subsonic Wind-Tunnel Wall Corrections on a Wing with a Clark Y-14 Airfoil*, The Faculty of the Department of Mechanical and Aerospace Engineering, San Jose State University.
- Bertram, V. (2000). *Practical Ship Hydrodynamics*, Butterworth-Heinemann, Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, UK., pp. 74
- Couser, P.R., Molland, A.F., Armstrong, N.A., and Utama, I.K.A.P. (1997). *Calm Water Powering Prediction for High Speed Catamarans*, Proceedings of Fourth International Conference on Fast Sea Transportation, FAST'97, Sydney.
- Dubrovsky, V., and Matveev, K.,(2005). *Passenger Vessels for the New Millennium: New Types of Sea-Going Multi-Hull Ships with Superior Comfort Level and Safety*, Joint Meeting of the Pacific Region Sections, California Maritime Academy, California, May 13 and 14.
- Hughes, G. (1954). *Friction and Form Resistance in Turbulent Flow, and a Proposed Formulation for Use in Model and Ship Correlation*, Transactions of RINA, Vol. 96.
- Hughes, G. (1966). *An Analysis of Ship Model Resistance into Viscous and Wave Components*, Transactions of RINA, Vol. 108.
- Insel, M., and 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.
- Insel M. and Molland A.F. (1992). *An Investigation into the Resistance Components of High Speed Displacement Catamarans*” RINA Transactions, Vol.134.
- ITTC (2002). *Recommended Procedures and Guidelines, Testing and Extrapolation Methods in Resistance Towing Tank Tests*, ITTC 7.5-02-02-02.
- Jamaluddin, A., Utama, IKAP.,(2002). Experimental Investigations into the Resistance Components of Symmetrical Catamarans with Variation Hull Clearances and Staggers, International Journal of Small Craft Technology, Transactions of the Royal Institution of Naval Architects (RINA), Vol. 154, Part B1, p 13-18
- Jamaluddin, A., Utama, IKAP., and Molland, A.F., Experimental and Numerical Study of the Resistance Component Interactions of Catamarans, Journal Engineering for the Maritime Environment, The Institution of Mechanical Engineers, Vol. 227 No.1, p 51 – 60.
- Molland, A.F. (2008). *A Guide to Ship Design, Construction and Operation*, The Maritime Engineering Reference Book, Butterworth-Heinemann, Elsevier.
- Molland, A.F., Turnock, S.R., dan Hudson, D.A. (2011). *Ship Resistance and Propulsion: Practical Estimation of Ship Propulsive Power*, Cambridge University Press, New York, USA.
- Moraes, H.B., Vasconcellos, J.M., dan Almeida, P.M. (2007). *Multiple Criteria Optimization Applied to High Speed Catamaran Preliminary Design*, Ocean Engineering, Volume 34, , pp. 133 – 147.
- 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.
- Utama, I K A P., (1999). *An Investigation into the Viscous Resistance of Catamaran Form*, PhD Thesis, Department of Ship Science, the University of Southampton, UK.
- Yeung, R.W., Wan, H. (2008). *Multihull and Surface Effect Ship Configuration Design: A Framework for Powering Minimization*, Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE), Vol.130, August.
- Zaghi, S., Broglia, R., dan Mascio, A. (2011). *Analysis of an Interference Effect for High Speed Catamarans by Model Tests and Numerical Simulations*, Journal of Ocean Engineering, Volume 38, Issues 17-18, pp. 2110 – 2122.