

Wave Pattern dan Interaksi Hambatan Gelombang pada Kapal Lambung Ganda (Twin Hull) — Kajian Analisa Numerik —

Andi Jamaluddin¹

Abstrak

Pola gelombang yang ditimbulkan oleh lambung kapal yang melaju sangat penting ketika mempertimbangkan kualitas desain lambung dan prediksi hambatan. Makalah ini membahas kajian pola gelombang sekitar *monohull* (*demihull*) dan lambung ganda (*catamaran*) dengan jarak lambung bervariasi. Estimasi numerik hambatan dan interaksi gelombang kapal yang dihasilkan dilakukan dengan menerapkan teknik-teknik numerik untuk menghitung pola gelombang timbul dan hambatannya, dengan permukaan air tenang. Hasil perhitungan numerik untuk kedua *demihull* dan *catamaran* dibandingkan dan dibahas secara rinci.

Kata kunci : Lambung ganda, Pola Gelombang, Hambatan, Simulasi.

Abstract

The matter of wave generation of ships is of great importance when considering the hull design quality and resistance prediction. This paper deals with the investigation of wave pattern around a monohull (*demihull*) and twin hull (*catamaran*) with varied hull spacing. The numerical estimation of ship-generated waves is carried out by applying the numerical technique for computing the wave height of the wave pattern with free surface in calm water. The numerical calculated results for both *demihull* and *catamaran* are compared and discusses in detail.

Keywords : Twin hull, Wave pattern, Resistance, Simulation

PENDAHULUAN

Pada kapal *catamaran*, salah satu aspek yang perlu diperhatikan adalah keakuratan estimasi hambatan pada tahapan awal proses disain, dimana hambatan kapal merupakan aspek yang sangat penting diketahui untuk memprediksi kecepatan dan daya mesin kapal.

Untuk kapal lambung tunggal (*monohull*), masalah hambatan telah banyak dipresentasikan oleh para peneliti. Namun untuk kapal lambung ganda (baik yang simetris maupun tidak simetris), masalah hambatan masih banyak dibahas dan didiskusikan dalam forum ilmiah karena komponen hambatannya lebih kompleks dibanding kapal *monohull*, yang mana disebabkan rumitnya efek interaksi viskos dan gelombang yang ditimbulkan oleh jarak dua lambung kapal, baik secara melintang (*hull clearance*) maupun secara membujur (*staggered hull*). Masalah ini masih

merupakan bahasan ilmiah yang terus berkembang, khususnya memprediksi ketiga variabel *interference factor* (secara terpisah) dalam formulasi perhitungan koefisien total hambatan kapal berlambung ganda (*twin hull, catamaran*):

$$(C_T)_{CAT} = (1 + wk)^\dagger C_F + \ddagger C_W \quad (1)$$

Saat ini, untuk tujuan praktis dalam kompleksitas *engineering problem*, oleh Insel dan Molland (1992), faktor \emptyset dan dikombinasikan kedalam interferensi hambatan viskos, yakni faktor S , dimana $(1 + wk)^\dagger = (1 + S k)$. Faktor \emptyset faktor interferensi hambatan bentuk (*form*) yang diakibatkan oleh perubahan tekanan disekitar lambung, faktor interferensi hambatan gesek (*friction*) akibat perubahan kecepatan aliran diantara kedua lambung dan faktor interferensi hambatan gelombang (*wave*) yang dipengaruhi oleh interaksi dua moda gelombang diantara kedua lambung *catamaran*.

1 UPT. BPPH, BPPT Surabaya

Pada paper ini membahas salah satu bagian dari kompleksitas masalah interferensi hambatan lambung kapal katamaran yakni perihal karakteristik pola gelombang dan interaksi hambatan gelombang pada kapal lambung ganda/ katamaran melalui simulasi numerik.

Pada lambung kapal berbentuk pipih, umumnya kapal *multihull*, dimana rasio antara panjang dan lebar kapal yang besar ($L/V^{1/3} > 4.0$), menggunakan metode *slender body* untuk memprediksi hambatan-nya. *Slender body method* berdasarkan pada pendekatan teori Michell (1898) yang telah dikembangkan oleh Tuck (1999) dan Couser (1996) pada aplikasi lambung kapal katamaran dan trimaran untuk menghitung hambatan gelombang pada bilangan *Froude* < 1.0 .

Pada komputasi ini, juga dilakukan kajian karakteristik gelombang (*wave pattern*) disekitar lambung kapal pada permukaan air melalui program 'ShipFlow-CFD'.

Untuk memudahkan pemecahan interferensi komponen hambatan, maka dalam simulasi dilakukan perhitungan pada *demihull* (satu lambung yang terisolasi) dan lambung katamaran.

MODEL DAN PROGRAM SIMULASI

Slender body method aplikatif untuk menghitung *energy wave pattern* di permukaan air pada gerak laju kapal, yang disebut hambatan gelombang.

Michell (1898) mengekspresikan hambatan gelombang dari dinding tipis samping lambung kapal sebagai:

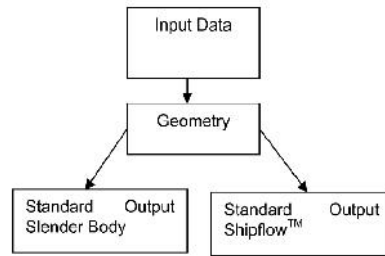
$$R_w = \frac{4}{\pi} \rho V^2 v^2 \int_1^{\infty} \frac{\lambda^2}{\sqrt{\lambda^2 - 1}} |A(\lambda)|^2 d\lambda \quad (2)$$

dimana

$$A(\lambda) = -iv\lambda \int_{-S}^S e^{i\lambda^2 z + i\lambda x} f(x, z) dz dx \quad (3)$$

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

Pada program *ShipFlow* reliabel untuk meng-presentasikan pola gelombang (*wave pattern*), dimana integrasi *flow chart* komputasi dapat dilihat pada Gbr. 1.



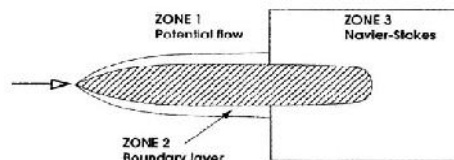
Gbr. 1 Diagram prosedur komputasi hambatan dan pola gelombang.

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*.



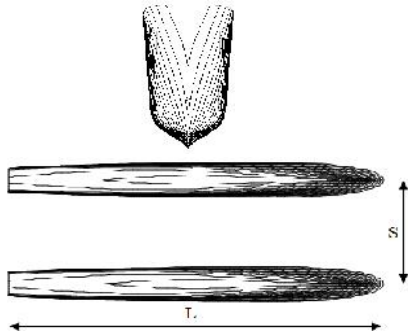
Gbr. 2 Distribusi zona dalam perhitungan aliran fluida pada SHIPFLOW

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 disepanjang 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.

Model tipe lambung yang disimulasikan adalah representasi model NPL (National Physics Laboratory) yakni, model lambung simetris (*symmetrical hull*) dengan konfigurasi jarak antara lambung bervariasi secara melintang. Konfigurasi dan *body plan* diperlihatkan pada Gambar 3. Disamping itu, model *demihull* juga dikaji untuk membandingkan karakteristik dan interaksi hambatan lambung kapal katamaran.

Dimensi dan ukuran utama lambung disajikan pada Tabel 1. Oleh karena model lambung *demihull* merupakan salah satu lambung katamaran maka luas

bidang basah (WSA), volume atau displamen adalah setengah dari lambung katamaran dengan sarat air (T) yang sama.



Gbr. 3 Konfigurasi lambung katamaran

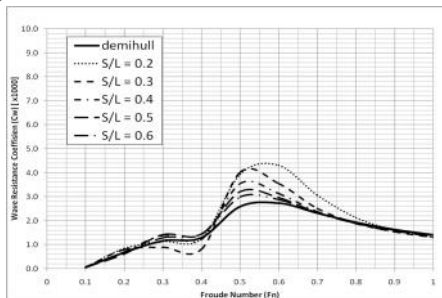
Tabel 1.
Ukuran model NPL- lambung simetris

Parameter	Lambung		Satuan
	<i>Demihull</i>	<i>Catamaran</i>	
L_{WL}	1.372	1.372	m
B_{hull}	0.132	0.132	m
T	0.078	0.078	m
WSA	0.2559	0.5206	m^2
Volume	0.0070	0.0140	m^3
Displac.	7.0233	14.0439	kg

Simulasi hambatan untuk lambung katamaran dilakukan pada kecepatan *Froude* (Fr) hingga 1.0, dengan 6 (enam) konfigurasi jarak lambung yang berbeda pada arah melintang (*clearance*, $S/L = 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$ dan 0.6). Rasio S/L menggambarkan rasio jarak antara kedua lambung (terhadap garis tengah lambung).

HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN

Pada Gbr 4 dan Tabel 2 memperlihatkan komponen koefisien hambatan gelombang (C_w) untuk beberapa variasi jarak antara lambung ($S/L = 0.2 - 0.6$).



Gbr. 4 Koefisien hambatan gelombang pada *demihull* dan *Catamaran*.

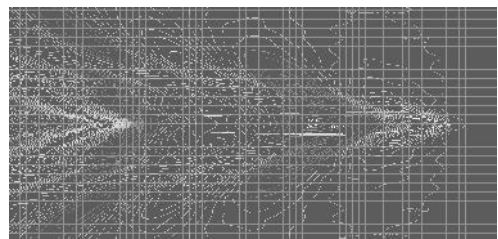
Koefisien hambatan gelombang (C_w) semakin besar dengan bertambah besarnya jarak antara lambung (S/L) pada $Fr = 0.45 - 0.75$. Hal ini meng-indikasikan bahwa pada range of *Froude* number tersebut terjadi interaksi hambatan gelombang yang cukup signifikan di antara kedua lambung. Kemudian pada $Fr < 0.4$ dan $Fr > 0.8$, nilai C_w tidak banyak dipengaruhi oleh perubahan jarak antara lambung (S/L).

Tabel 2.

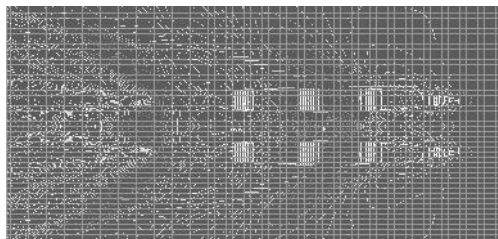
Hasil komputasi '*slenderbody method*' pada model NPL- lambung simetris.

Fn	$C_w (x10^{-3})$					
	<i>Demi hull</i>	S/L 0.2	S/L 0.3	S/L 0.4	S/L 0.5	S/L 0.6
0.1	0.061	0.067	0.063	0.063	0.061	0.061
0.2	0.680	0.854	0.802	0.695	0.682	0.678
0.3	1.166	1.127	0.895	1.397	1.423	1.292
0.4	1.295	1.250	1.226	1.236	1.436	1.455
0.5	2.597	3.948	4.021	3.560	3.211	2.992
0.6	2.733	4.311	3.548	3.137	2.963	2.880
0.7	2.320	3.065	2.514	2.373	2.338	2.340
0.8	1.935	2.137	1.897	1.875	1.896	1.894
0.9	1.639	1.602	1.537	1.563	1.580	1.616
1.0	1.414	1.302	1.303	1.352	1.380	1.385

Gbr. 5 - 10 menyajikan salah satu hasil simulasi '*wave pattern*' untuk *demihull* dan lambung katamaran dengan variasi jarak antara lambung ($S/L = 0.2 - 0.6$) pada bilangan *Froude* 0.375.

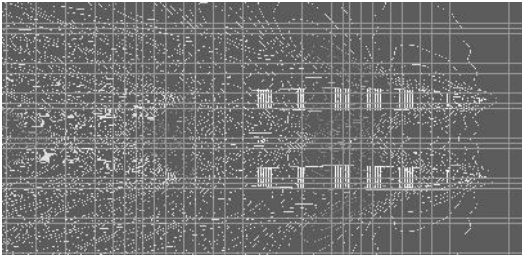


Gbr. 5. Wave Pattern- Demihull pada $Fr = 0.375$

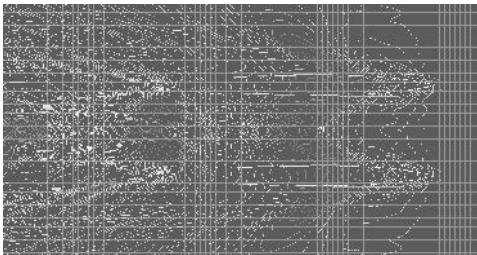


Gbr. 6. Wave Pattern, $S/L = 0.2$ pada $Fr = 0.375$

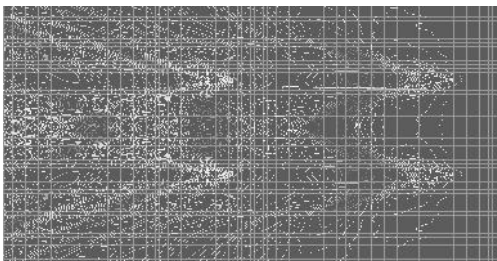
Dari hasil simulasi 'wave pattern' memperlihatkan terjadinya perubahan tekanan (*pressure*) dan elevasi gelombang (*wave making*) antara *demihull* dan lambung katamaran. Aliran air disekitar lambung (*demihull*) yang simetris adalah tidak simetris yang disebabkan timbulnya interaksi aliran diantara lambung tersebut yaitu besar tekanan yang timbul disekitar lambung adalah relatif tidak simetri terhadap garis tengah (*centerline*) lambung.



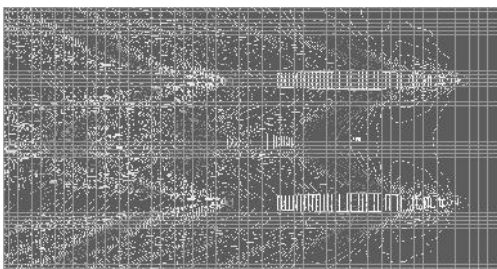
Gbr. 7 Wave Pattern, S/L= 0.3 pada Fr = 0.375



Gbr. 8 Wave Pattern, S/L= 0.4 pada Fr = 0.375



Gbr. 9 Wave Pattern, S/L= 0.5 pada Fr = 0.375

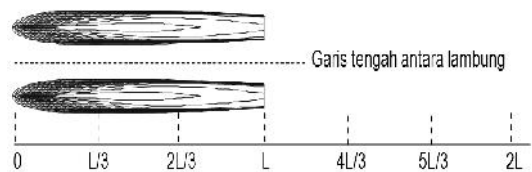


Gbr. 10 Wave Pattern, S/L= 0.6 pada Fr = 0.375

Perubahan pola (karakteristik) gelombang juga dipengaruhi oleh perubahan jarak antara lambung (S/L). Semakin besar jarak antara lambung maka semakin kecil tekanan dan elevasi gelombang yang terjadi diantara kedua lambung. Hal ini disebabkan karena adanya usikan kecepatan aliran dan tekanan disekitar lambung (*demihull*) meningkat, khususnya di area bagian dalam (*tunnel side*) karena efek interaksi. Penambahan kecepatan menyebabkan meningkatnya hambatan *skin friction* yang selanjutnya dapat memodifikasi nilai *form factor*. Eksperimen Miyazawa (1979) meng-indikasikan adanya penambahan kecepatan hingga 10% pada arah sumbu-x dibandingkan dengan pemisahan *demihull* (mandiri).

Untuk mengetahui lebih detail interaksi gelombang (*wave pattern*) diantara lambung kapal, maka dilakukan kajian ketinggian (elevasi) interaksi gelombang pada garis tengah jarak antara lambung disepanjang kapal (*longitudinal direction*), lihat Gbr 10.

Perubahan ketinggian interaksi gelombang yang terjadi terhadap perubahan jarak antara lambung diperlihatkan pada Gambar 11 - 13.

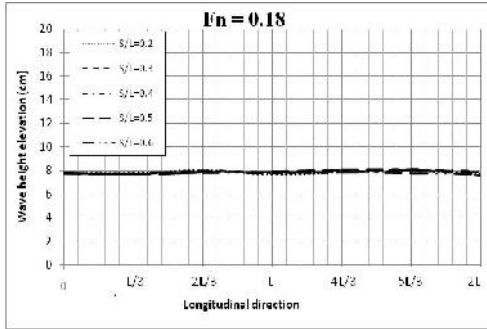


Gbr. 11 Koordinat (x-axis) arah *longitudinal* pola gelombang yang diamati.

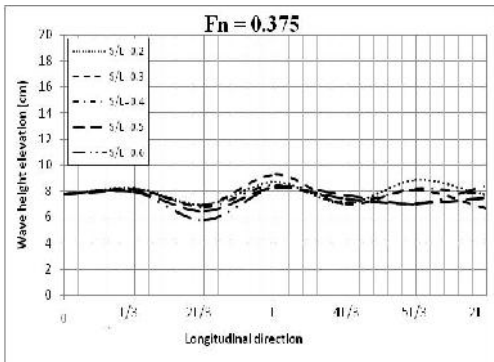
Pada kecepatan rendah (Fr 0.20), perubahan elevasi gelombang diantara kedua lambung adalah cukup kecil dan konstan. Sedangkan pada kecepatan yang lebih tinggi (Fr 0.35 dan Fr 0.65), terjadi perubahan ketinggian elevasi gelombang yang lebih besar, khususnya pada Fr 0.65.

Fenomena diatas terjadi karena pada kecepatan tersebut lebih didominasi oleh *wave making* dari proses fisik lainnya, khususnya pada Fr= 0.5, dimana panjang lambung, yang melaju dengan kecepatan tertentu pada *free surface* yang dipengaruhi oleh *gravity*, adalah kurang lebih setengah dari *transverse wavelength* $2 U^2/g$, dan gelombang dari depan dan dari belakang saling menguatkan (*added together*), Tuck E.O (2002). Selanjutnya kapal dengan kecepatan rendah $Fr < 0.35$, hasil estimasi teori untuk *wave making* cenderung tidak akurat (*unrealible*), karena

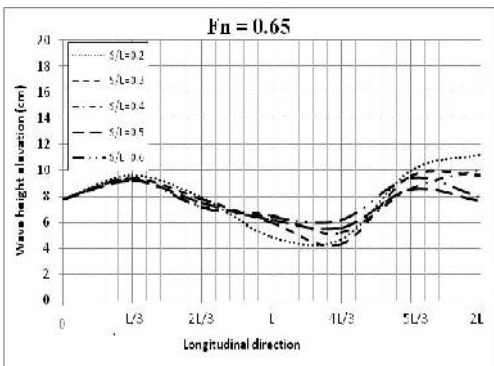
efek gelombang sangat kecil sedangkan efek viskos sangat mendominasi pada kondisi (kecepatan) tersebut. Efek gelombang lebih signifikan pada $Fr = 0.4 - 1.0$. Pada batas kecepatan ini, estimasi teori dan eksperimen menunjukkan hasil yang hampir sama (mendekati), seperti hasil riset oleh Tuck E.O (1987) dengan menggunakan teori Michell (1898) dan eksperimen dari Chapman (1972).



Gbr. 12 Tinggi gelombang (Wave Pattern) untuk variasi rasio S/L, pada $Fr = 0.18$.



Gbr. 13. Tinggi gelombang (Wave Pattern) untuk variasi rasio S/L, pada $Fr = 0.375$.



Gbr. 14 Tinggi gelombang (Wave Pattern) untuk variasi rasio S/L, pada $Fr = 0.65$.

Tabel 3.

Tinggi gelombang (cm) 'wave pattern' pada model NPL- lambung simetris.

X-axis	S/L =0.2	S/L =0.3	S/L =0.4	S/L =0.5	S/L =0.6
Fn = 0.18					
L/3	0.7030	0.6963	0.6959	0.6896	0.6875
2L/3	0.7240	0.7199	0.7123	0.7104	0.7052
L	0.6922	0.7051	0.7023	0.7109	0.7047
4/3L	0.7048	0.7061	0.7146	0.7274	0.7096
5/3L	0.7198	0.7280	0.7303	0.7251	0.7021
2L	0.6996	0.6834	0.7157	0.7049	0.6974
Fn = 0.375					
L/3	0.7383	0.7340	0.7324	0.7156	0.7155
2L/3	0.6270	0.6242	0.6088	0.5798	0.5181
L	0.7828	0.8340	0.7617	0.7455	0.7455
4/3L	0.6332	0.6315	0.6398	0.6660	0.6897
5/3L	0.7952	0.7300	0.7340	0.6344	0.6328
2L	0.6918	0.5994	0.6964	0.6741	0.7566
Fn = 0.65					
L/3	0.8673	0.8410	0.8459	0.8281	0.8359
2L/3	0.7089	0.6997	0.6485	0.6766	0.6424
L	0.4378	0.5384	0.5847	0.5594	0.5777
4/3L	0.4216	0.3904	0.4672	0.5025	0.5553
5/3L	0.8988	0.8605	0.7738	0.7646	0.8481
2L	1.0058	0.8658	0.9028	0.6864	0.7113

Semakin besar jarak antara lambung (S/L), semakin kecil tinggi gelombang yang ditimbulkan di area tengah antara lambung. Fenomena ini juga ditemukan oleh Doctors L.J.(2007) dari hasil eksperimennya.

Ketinggian gelombang di belakang kapal, memperlihatkan kurva tidak regular (*irregularity*) karena terjadi perubahan aliran yang signifikan akibat efek *transom stern* dan efek uleanan aliran (*wake*).

Nilai interferensi hambatan gelombang (\ddagger) untuk lambung katamaran terhadap variasi perubahan jarak antara lambung (S/L), dihitung dengan persamaan 4:

$$\ddagger = \frac{C_{W(\text{catamaran})}}{C_{W(\text{demihull})}} \quad (4)$$

Hasil tabulasi C_w pada variasi perubahan jarak antara lambung (S/L= 0.2 – 0.6), lihat Gambar 3 dan Tabel 3, diperoleh nilai faktor interferensi hambatan gelombang (\ddagger) adalah 1.15 – 1.58 sebagaimana disajikan pada Table 4.

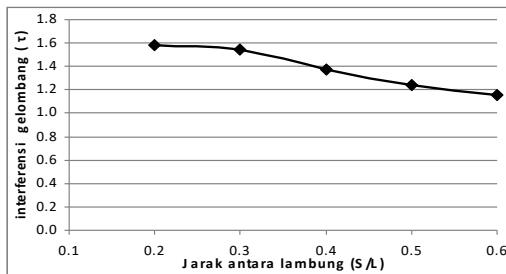
Tabel 4.

Faktor interferensi hambatan gelombang (\dagger)

No	S/L	\dagger
1	0.2	1.577
2	0.3	1.548
3	0.4	1.371
4	0.5	1.236
5	0.6	1.152

Semakin besar perubahan jarak antara lambung (S/L) maka semakin kecil faktor interferensi hambatan gelombang (\dagger) yang terjadi pada lambung katamaran.

Gambar 14 memperlihatkan kurva komponen nilai faktor \dagger yang menunjukkan 'trend' yang menurun dengan bertambahnya jarak antara lambung (S/L), nilai faktor interferensi hambatan gelombang (\dagger) dapat mencapai 36%.



Gbr. 15 Faktor Interferensi Hambatan Gelombang terhadap Jarak antara Lambung.

KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan simulasi, beberapa hal yang dapat disimpulkan sebagai berikut:

- o Koefisien hambatan gelombang (C_w) semakin besar dengan bertambah besarnya jarak antara lambung (S/L) pada $Fr = 0.45 - 0.75$. Kemudian diluar *range of Froude number* tersebut, pengaruh rasio S/L terhadap nilai C_w tidak signifikan lagi.
- o Pada kecepatan rendah $Fr 0.18$, tinggi gelombang diantara kedua lambung cukup kecil dan konstan. Sedangkan pada kecepatan $Fr 0.375$, terjadi fluktuasi ketinggian gelombang yang signifikan dan pada kecepatan $Fr 0.65$, terjadi fluktuasi ketinggian gelombang yang lebih besar
- o Ketinggian gelombang di belakang kapal, tidak regular (*irregularity*) akibat efek *transom stern* dan efek ulean aliran (*wake*).
- o Pola (karakteristik) gelombang dipengaruhi oleh perubahan jarak antara lambung (S/L). Semakin besar jarak antara lambung, semakin kecil tekanan

dan elevasi gelombang yang terjadi diantara kedua lambung tersebut.

Kajian ini dipandang perlu untuk dikembangkan lebih mendalam melalui eksperimen di *towing tank*, kemudian dilanjutkan dengan kajian interferensi hambatan viskos melalui simulasi *Ansys-CFD* dan eksperimen di *wind tunnel*. Bentuk lambung model perlu penambahan, tidak hanya untuk lambung simetris (*symmetrical hull*) tetapi juga lambung tidak simetris (*asymmetrical hull*) dan dengan konfigurasi lambung yang sejajar dan tidak sejajar pada arah membujur (*staggered hull*). Sehingga diperoleh kajian interferensi hambatan gelombang dan viskos pada lambung katamaran yang konferensif, dan ketiga variabel *interference factor* (ϕ , dan) penting dipecahkan dalam rangka keakurasian perhitungan dan memperkaya serta memperkuat *data base* untuk tujuan saintifik (*scientific*).

DAFTAR PUSTAKA

- 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, UK.
- Doctors, L.J. (2007). *A Test of Linearity in the Generation of Ship Waves*, 22nd International Workshop on Water Waves and Floating Bodies (IWWF), Plitvice, Croatia.
- Michell, J H (1898). *The Wave Resistance of a Ship*, Philosophical Magazine, London.
- Miyazawa, M. (1979). "A Study on the Flow Around a Catamaran", Journal of Society of Naval Architects of Japan, No. 145.
- Insel M. and Molland A.F. (1992). RINA Transactions, Vol.134.
- Tuck E.O (1987). *Wave Resistance of Thinships and Catamarans*, Report T8701, Dept. of Applied Mathematics. The University of Adelaide. South Australia 5005. Australia.
- 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.
- Tuck E.O (2002). Tuck E.O., Scullen, D.C., and Lazauskas, L. (2002), *Wave Pattern and Minimum Wave Resistance for High-Speed Vessel*, 24th Symposium on Naval Hydrodynamics, Fukoka, Japan, 8- 13 July.