

INVESTIGASI KARAKTERISTIK HAMBATAN PENTAMARAN BENTUK LAMBUNG WIGLEY DAN CHINE DENGAN MENGGUNAKAN CFD

Wiwin Sulistyawati¹

Prodi Teknik Perkapalan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jakarta, Jakarta Selatan, Indonesia¹
email¹ : w12n_sby@yahoo.com

Abstract

Several studies of multi-hulls ship showed that hull resistance could be predicted from position between the each hull. The design optimization of the hull form could be considered by minimizing resistance, which is generally the sum of the viscous resistance and the wave making resistance of the ship model. This paper presents an investigation of pentamaran hull form with chine hull form to the effects of outriggers position, asymmetry, and deadrise angles on the resistance characteristics. This research investigated the resistance characteristics by modeling pentamaran hull form using chine with symmetrical main hull and asymmetric outboard on the variation deadrise angles: 25°, 30°, 35° and Froude number 0,1 to 0,7. We examined the calm water resistance characteristics of six pentamaran models with chine-hull form by variation of deadrise angles using Ansys CFD. Increasing the deadrise angle of chine hull form contribute to the resistance due to the interaction of the wave systems produced by each demihull. Strong interaction effect on the resistance coefficient component was found for change in the hull length as well. Compared to the wigley hull form, the maximum drag reduction of the chine hull form was reduced by 18.05% in deadrise 25°, 16.1% in deadrise 30°, and 18.19% in deadrise 35°. While the smallest value of total resistance coefficient was generated from chine 35° at R/L:1/14 and R/L:1/7. Optimum hull form for minimum resistance has been obtained, so it is interesting to continue with angle of entrance and stem angle of hull for further research.

Keywords: pentamaran; deadrise angles; resistance; CFD.

LATAR BELAKANG

Pada banyak penelitian telah membuktikan bahwa kapal dengan banyak lambung (*multi hull*) lebih baik dibandingkan dengan kapal *mono hull*, yaitu: volume ruangan yang luas, dek yang besar, hambatan yang rendah pada kecepatan tinggi, stabilitas yang baik, dan olah gerak (*performance seakeeping*) yang baik pula. Suatu desain kapal yang optimum adalah mencapai kecepatan yang ditentukan dengan kebutuhan daya yang minimum. Posisi *side hull* terhadap *main hull* mempunyai pengaruh terhadap hambatan gesek dan stabilitasnya (Oller, et al. 2003). Hambatan gesek (*frictional resistance*) pada pentamaran meningkat akibat dari penambahan luas permukaan basah (*wetted surface area*) dari lambung-lambungannya, akan tetapi hambatan penyebab gelombang (*wave making resistance*) dapat diturunkan dengan bentuk lambung yang ramping. (Ikeda, et al. 2005) Penurunan hambatan gelombang dan peningkatan hambatan

gesek dipengaruhi oleh perbandingan panjang lambung terhadap lebar (L/B).

Bentuk lambung kapal (*hull form*) adalah hal sangat penting dalam menentukan besarnya hambatan penyebab gelombang (*wave making resistance*). Penelitian pentamaran pada umumnya menggunakan bentuk lambung Wigley, penelitian ini melakukan investigasi pada bentuk lambung chine dan membandingkan dengan bentuk Wigley. Bentuk lambung chine dari beberapa penelitian menunjukkan keuntungan seperti: dapat menurunkan hambatan, mudah dan cepat dalam proses pembangunan kapal. Dari eksperimen (Chengyi 1994), bentuk *chine* yang simetris pada kapal katamaran dapat memperkecil hambatan gelombang, dimana interferensi antar lambung penyebab hambatan akan cenderung turun pada $Fn > 0.5$. (Blount 1995) mendapatkan bahwa model *chine* lebih menguntungkan pada $Fn > 0.75$ dibandingkan dengan model NPL series (Bailey 1976), sedangkan dari segi *performance seakeeping*,

model *rounded* lebih unggul pada kondisi *displacement*. Selanjutnya (Blount and McGrath 2009) menunjukkan bahwa bentuk *chine* mempunyai stabilitas dinamik yang lebih baik pada saat kecepatan tinggi. (Moraes, et al. 2004) dengan menggunakan metode teori Michell dan program komputer 3D Shipflow menganalisis komponen hambatan pada katamaran saat kecepatan tinggi dan perairan dangkal. Bentuk lambung Wigley pada perairan dalam mempunyai nilai C_w (wave coefficient) terbesar pada $0.3 < Fr < 0.6$, dan pada perairan dangkal nilai C_w terbesar pada $Fr > 0.4$. Sedangkan pada bentuk lambung *chine*, nilai C_w mengalami penurunan pada $0.6 < Fr < 0.7$ sejalan dengan kenaikan kedalaman, nilai C_w terbesar di perairan dangkal terjadi pada $Fr > 0.4$.

Performance kapal ditentukan oleh parameter-parameter: L/B , $A_p/V^{2/3}$, LCG, *deadrise angle*, variasi sudut sepanjang badan kapal, dan *shape* dari *chine* (Begovic and Bertorello 2012). Penggunaan bentuk *chine* pada *multi hull* dilakukan oleh (Bari and Matveev 2016) yang mendapatkan gaya hidrodinamik katamaran lambung *chine* pada *deadrise angle* 0° - 20° koefisien gaya angkat meningkat sejalan dengan makin besarnya *deadrise angle* dan Fn , serta makin pendek jarak *outriggers*. Akan tetapi pada *deadrise angle* terbesar (20°) dan Fn semakin besar serta jarak *outriggers* makin jauh maka terjadi efek yang kompleks dimana aliran gelombang kearah belakang mengakibatkan tekanan di area belakang kapal, dan juga berakibat pada koefisien gaya angkat. Pada penelitian ini melakukan analisis berdasarkan konfigurasi *outrigger* (Yanuar, 2015) dengan model *chine* pada variasi *deadrise angle* 25° , 30° dan 35° .

HAMBATAN KAPAL

Eksperimental dan model numerik sangat penting untuk mendapatkan bentuk lambung dengan hidrodinamik dan performans yang baik,serta faktor aman yang tercapai. Eksperimental untuk kapal *multi hull* dilakukan pertama kali oleh (Hsiung and Xu 1988) pada kapal katamaran untuk mendapatkan hull yang optimal dengan hambatan yang minimum. Selanjutnya (Wilson, et al. 1993) melakukan analisis dan eksperimen dengan towing untuk *Wave Cancellation Multihull* (WCM) pada Trimaran. (Suzuki and Ikehata 1993) serta (Andrews 1995) melakukan optimisasi konfigurasi pada Trimaran. Dan (Tuck and Lazauskas 1998) dengan menggunakan thin ship teori menentukan konfigurasi jarak optimum *multihull* untuk mendapatkan hambatan

gelombang yang minimum. (Peng 2001) melakukan pendekatan formulasi numerik secara komputasi dengan metode teori Michell menentukan hambatan dan olah gerak kapal pada katamaran, trimaran, quadrimaran (tetramaran) dan Pentamaran dengan menggunakan model Wigley pada beberapa variasi konfigurasi. Peng menyatakan bahwa pada *multi hull* hambatan gelombang selalu menjadi komponen penghambat pada saat kecepatan meningkat atau nilai Fn semakin besar.

Dasar dari hipotesis Froude menyatakan bahwa hambatan total terdiri dari 2 komponen, yaitu: hambatan gesek (frictional resistance, R_f) dan hambatan sisa (residuary resistance, R_r)

$$R_t = R_f + R_r \quad (1)$$

Analisis data eksperimen menggunakan metodologi ITTC'57 untuk menghitung koefisien hambatan total (C_t):

$$C_t = C_f + C_r \quad (2)$$

$$C_f = \frac{0.075}{(\log Rn - 2)^2} \quad (3)$$

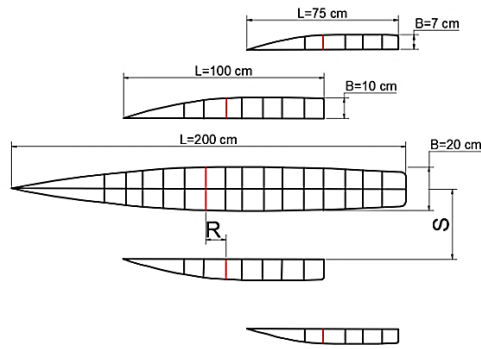
Pentamaran terdiri dari satu lambung utama, dua lambung dalam dan dua lambung terluar yang mempunyai perbedaan Reynold number, maka koefisien hambatan gesek dapat dihitung dengan rumus:

$$C_f = C_{f_{main}} \frac{S_{main}}{S_T} + C_{f1} \frac{2Side_1}{S_T} + C_{f2} \frac{2Side_2}{S_T} \quad (4)$$

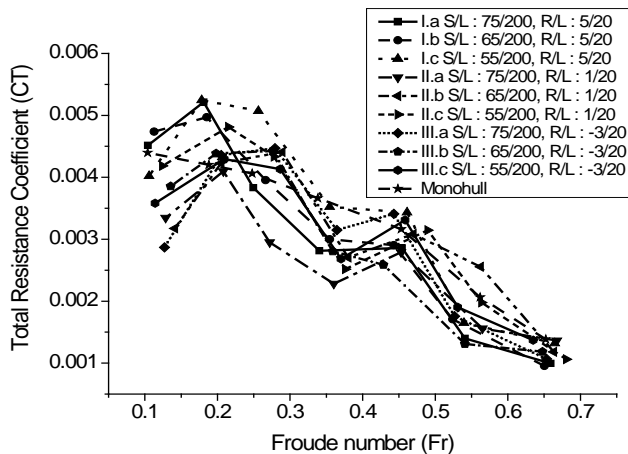
maka koefisien hambatan sisa (residuary resistance, R_r):

$$C_r = C_t - C_f \quad (5)$$

Data ekperimental dari penelitian Yanuar (2015) digunakan untuk validasi dari analisis CFD pentamaran bentuk lambung Wigley dengan sisi lambung dalam asimetri. Eksperimen dilakukan pada 9 konfigurasi pada variasi $Fr < 0.1 - 0.7$. Pada model IIA (Gambar 1) konfigurasi S/L (separation/ length of main hull) $3/16$ dan R/L (stagger/ length of main hull) $1/20$ pada $Fr < 0.35$ hambatan mengalami penurunan sebesar 25%.



Gambar 1. Configuration model Ila (Yanuar, 2015)



Gambar 2. Koefisien hambatan total pada konfigurasi pentamaran bentuk Wigley (Yanuar, 2015)

Pada Fr 0.2 to 0.7 koefisien hambatan mengalami tren penurunan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

Penelitian ini mengimplementasikan simulasi numerik dengan menggunakan CFD pada model eksperimen Yanuar (2015). Hasil dari konfigurasi IIA (model Wigley) dijadikan sebagai analisis model awal yang kemudian membandingkan dengan model chine pada variasi sudut deadrise: 25o, 30o, 35o.

Langkah awal adalah pemodelan pentamaran dengan menggunakan linesplan dari model eksperimen Yanuar (2015). Kemudian dilakukan modifikasi model Wigley dengan model chine pada posisi S/L yang sama/ tetap. Spesifikasi dari bentuk lambung Wigley dan chine ditunjukkan pada Tabel 1. Sedangkan

midship section bentuk lambung Wigley and chine ditunjukkan pada Gambar 3 dan 4.

Perubahan bentuk lambung dari Wigley ke chine menyebabkan perubahan L/B: 12; 13.75; 16.5 pada nilai konstan B/T: 2.9 dan H/T: 2.1, sehingga dari perubahan tersebut terdapat 6 konfigurasi baru. Dari masing-masing sudut deadrise terdapat 2 konfigurasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Masing-masing konfigurasi pada tiap-tiap lambung chine adalah perubahan posisi inner dan outer sisi lambung.

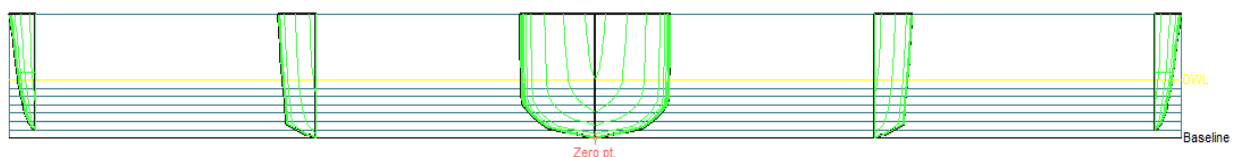
Teknik Meshing

Blazek (2001) dan Ferziger (2002) menyatakan bahwa kualitas mesh sangat penting untuk menampilkan hasil CFD. Jumlah total elemen dari mesh harus cukup besar untuk mempresentasikan geometri dan fenomena aliran dari domain. Spesifikasi domain pada permukaan bebas model untuk boundary secara detail ditampilkan pada Tabel 2. Pada penelitian ini untuk meshing telah dilakukan sebanyak 5 kali dengan jumlah elemen: 4.5 juta, 7 juta, 9 juta, 10 juta dan 11 juta sebagai evaluasi konvergensi. Untuk konvergensi dan keyakinan terhadap ketidakpastian numerik maka proses meshing untuk ukuran elemen dari boundary adalah 0,1, sedangkan untuk model (lambung) ukuran elemen diatur dari 0.005 hingga 0.003. Hasil poses meshing pada model ditunjukkan pada Gambar 6, dihasilkan sekitar 10 juta elemen. Metode meshing dengan menggunakan ICEM menghasilkan mesh secara otomatis. Mesh yang dihasilkan dari ICEM menggunakan transisi lambat untuk memperbaiki mesh yang dibuat. Elemen Unstructured tetrahedral dipilih dalam proses meshing untuk domain dan model (lambung).

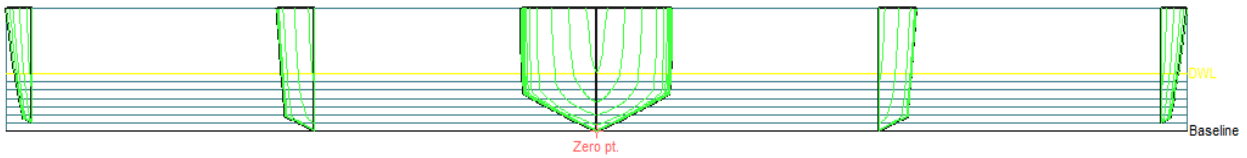
Jumlah total elemen, ukuran mesh sama dengan penentuan nilai Y^+ pada beberapa variasi mesh. Y^+ adalah suatu *non-dimensional* jarak dari dinding (wall) ke grid poin pertama yang sama dengan angka Reynolds, yang dinyatakan pada persamaan 6. Hal ini untuk menggambarkan pengaruh aliran pada dinding apakah laminar atau turbulen.

$$y^+ = \frac{U_\tau y}{\nu} \quad (6)$$

Dimana U_τ ; kecepatan gesek sebagai perbandingan antara shear stress pada wall (τ_w) dan kerapatan (ρ), y ; jarak dari permukaan dinding, ν ; viskositas kinematik.



Gambar 3. Pentamaran bentuk Wigley

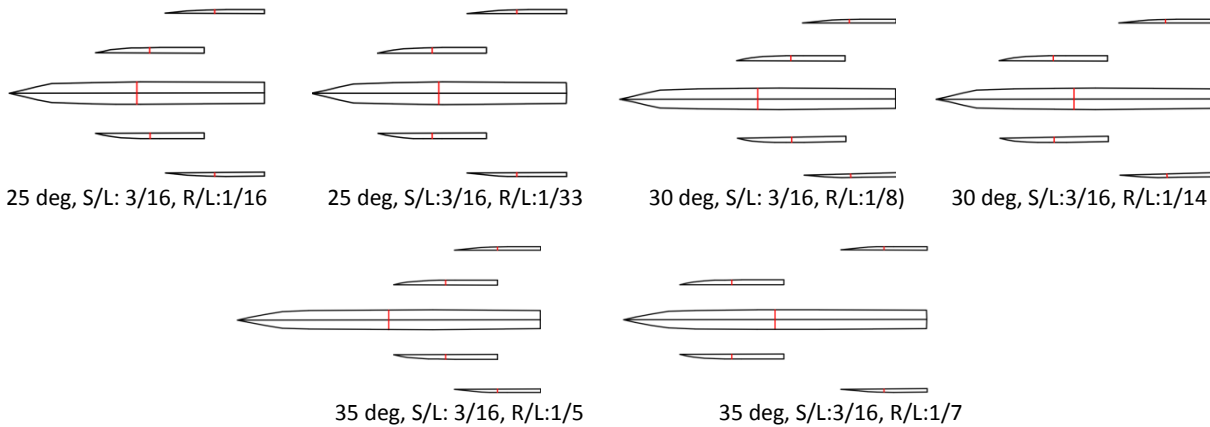


Gambar 4. Pentamaran bentuk chine

Tabel 1. Spesifikasi lambung Wigley dan Chine

Main Dimension	Wigley			Chine 25 ⁰		
	Main	Inner side	Outer side	Main	Inner side	Outer side
LOA	2.00 m	1.00 m	0.75 m	2.40 m	1.02 m	0.93 m
B	0.20 m	0.10 m	0.07 m	0.20 m	0.10 m	0.07 m
T	0.07 m	0.07 m	0.06 m	0.07 m	0.07 m	0.06 m
H	0.15 m	0.15 m	0.14 m	0.15 m	0.15 m	0.14 m
Cb	0.57	0.59	0.58	0.59	0.67	0.55
WSA	0.39 m ²	0.18 m ²	0.11 m ²	0.55 m ²	0.30 m ²	0.21 m ²
□tot		24.5 kg			≈24.5 kg	

Main Dimension	Chine 30 ⁰			Chine 35 ⁰		
	Main	Inner side	Outer side	Main	Inner side	Outer side
LOA	2.75	1.08 m	0.93 m	3.30 m	1.12 m	0.93 m
B	0.20 m	0.10 m	0.07 m	0.20 m	0.10 m	0.07 m
T	0.07 m	0.07 m	0.06 m	0.07 m	0.07 m	0.06 m
H	0.15 m	0.15 m	0.4 m	0.15 m	0,15 m	0.14 m
Cb	0.52	0.65	0.55	0.44	0.62	0.55
WSA	0.61 m ²	0.31 m ²	0.21 m ²	0.69 m ²	0.32 m ²	0.21 m ²
□tot		≈24.5 kg			≈24.5 kg	



Gambar 5. Enam konfigurasi baru dari bentuk lambung chine

Mesh awal yang dihasilkan sebanyak 7 juta elemen yang kemudian ditingkatkan menjadi 10 juta dengan nilai Y^+ pada lambung > 55 . Pada aliran multi fase, volume fraction ditentukan untuk menghindari residual yang besar, Pengulangan konvergensi diasumsikan sebagai langkah untuk mendapatkan nilai residual yang normal. Untuk residual RMS ditentukan pada nilai $1E-04$. Perhitungan pada kondisi steady biasanya terjadi antara 50-100 kali hingga mendapatkan kondisi yang konvergen. Secara keseluruhan proses waktu (time step) yang terlalu lama maka akan menimbulkan konvergensi yang tidak stabil, akan tetapi bila terlalu singkat maka untuk mendapatkan kondisi yang konvergen akan sangat lama

Hasil Analisis

Analisis pada pentamaran model Wigley dan konfigurasi 6 model chine dengan perbedaan L_{pp} maka menimbulkan perubahan ukuran dari domain, khususnya pada daerah depan dan belakang kapal yang menyesuaikan dengan panjang kapal. Sebagai tambahan untuk ukuran domain, seting dari mesh dan setup CFD mengikuti pengaturan antara lain: ukuran mesh, kondisi boundary, time step dan kontrol konvergensi.

Dari hasil analisis CFD dan perbandingan dengan data eksperimen ditunjukkan pada Gambar 6, dimana kedua grafik koefisien hambatan total (C_t) menampilkan tren yang sama.

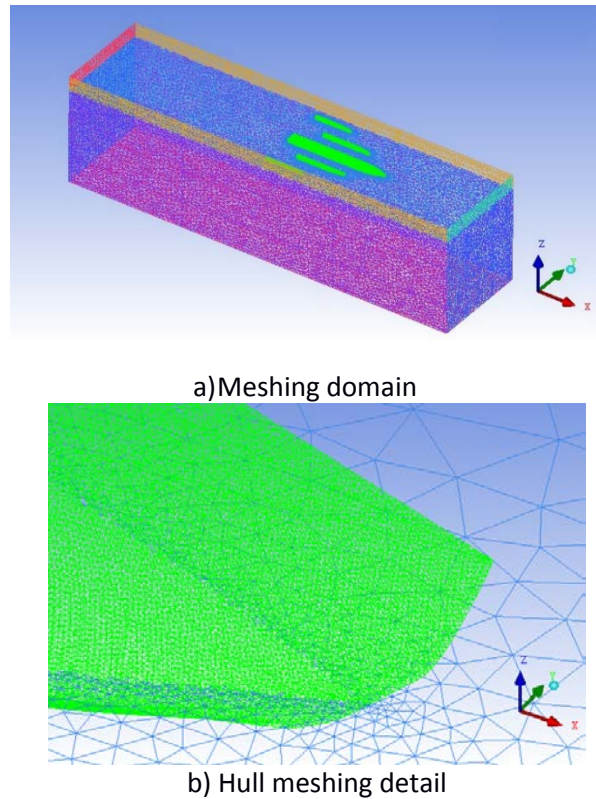
Perbedaan hasil antara eksperimental dan CFD menggunakan persamaan (7). Rata-rata hasil perbedaan antara eksperimental dan CFD sebesar 3.6%, suatu hasil yang menunjukkan keakuratan setup CFD

$$\Delta C_T = \frac{C_{T.exp} - C_{T.CFD}}{C_{T.exp}} \times 100\% \quad (7)$$

Tabel 2. CFD simulation properties

Property	Fine Mesh
Type of mesh	Structured (tetrahedral, mixer)
Domain Physics	Homogeneous water/air multiphase, $K-\epsilon$, automatic wall function, buoyancy model – density difference, standard free surface model
Boundary physics:	
Inlet	Inlet, volume fraction, turbulence intensity 0.05
Outlet	Outlet, relative pressure
side wall	Wall, free slip condition
Top	Opening, relative pressure 0 Pa
Hull/ Bottom	Wall, no slip condition
Symmetry plane	Along centerline of the hull
Solver settings:	
Convergence criteria	Residuary type: RMS, Target: 10^{-4}
Multiphase control	Volume fraction coupling

Hasil analisis koefisien hambatan C_t , C_f and C_r dari 6 lambung chine ditunjukkan pada Gambar 8-10. Nilai hambatan total C_t menunjukkan bahwa nilai terkecil terjadi pada chine 35° R/L:1/14 and R/L:1/7 dengan bentuk grafik dengan tren yang sama. Nilai terbesar C_t dari semua bentuk lambung chine terjadi pada Fr 0.2-0.4.



Gambar 6. Hasil mesh CFD

Kemudian dengan peningkatan Fr maka nilai C_t akan mempunyai kecenderungan menurun. Pada sudut deadrise 35° secara signifikan mempunyai nilai C_t yang kecil dibandingkan dengan sudut deadrise 25° and 30° . Hal tersebut mengidentifikasi bahwa peningkatan sudut deadrise dapat menurunkan nilai C_t . Rata-rata penurunan nilai C_t yang ditunjukkan pada Gambar 8 dari chine 30° ke 35° sebesar 9.75%, dari chine 25° ke 30° sebesar 2.9%, dari chine 25° ke 35° sebesar 12.3%.

Perhitungan hambatan gesek pada lambung untuk eksperimen mengacu pada persamaan 4, sedangkan di CFX post dapat dihitung pada area integral dari wall shear pada sumbu x. pada Gambar 8 menunjukkan grafik C_f yang mempunyai tren yang sama dengan grafik C_t , dimana nilai C_f juga terjadi pada bentuk lambung chine dengan sudut deadrise 35° . Nilai hambatan sisa (residual resistance, C_r) tersisa juga terjadi pada deadrise 35° at R/L: 1/14 and R/L: 1/7. Hal tersebut mengidentifikasi bahwa model tersebut mempunyai hambatan gelombang yang besar dibandingkan dengan deadrise 25° dan 30° .

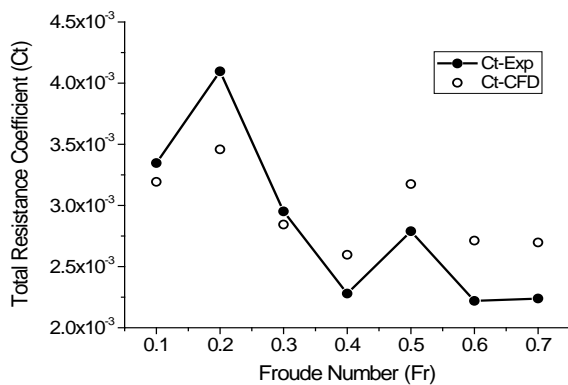
Grafik C_t pada bentuk lambung Wigley menunjukkan fenomena puncak dan lembah, dimana bentuk lambung chine tidak terdapat perubahan yang signifikan kenaikan maupun penurunan nilai C_t pada variasi Fr . Prosentase penurunan hambatan dari bentuk lambung Wigley ke chine dinyatakan dengan persamaan (8).

$$DR(\%) = \left| \frac{C_{t_{wigley}} - C_{t_{chine}}}{C_{t_{wigley}}} \right| \quad (8)$$

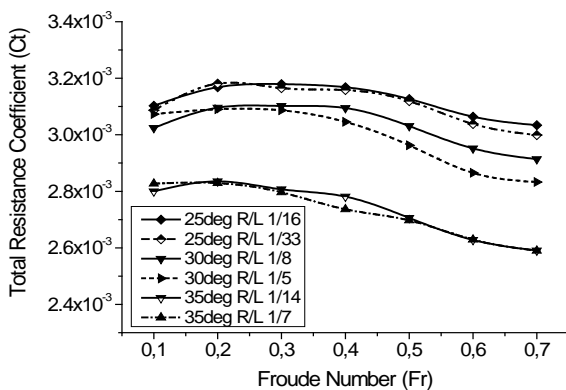
Grafik prosentase penurunan hambatan dari 6 bentuk lambung chine ditunjukkan pada Gambar 11. Untuk nilai maksimum penurunan hambatan dari bentuk Wigley ke chine ditampilkan pada table 3 di bawah ini.

Tabel 3. Maksimum penurunan hambatan

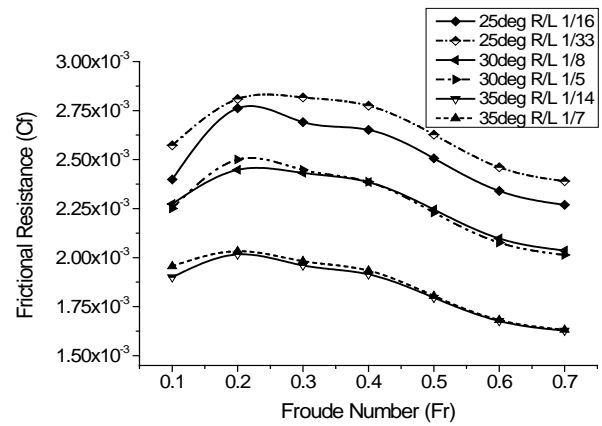
chine	DR (%)
25deg R/L 1/16	18.05
25deg R/L 1/33	17.80
30deg R/L 1/8	16.10
30deg R/L 1/5	14.76
35deg R/L 1/14	18.02
35deg R/L 1/7	18.19



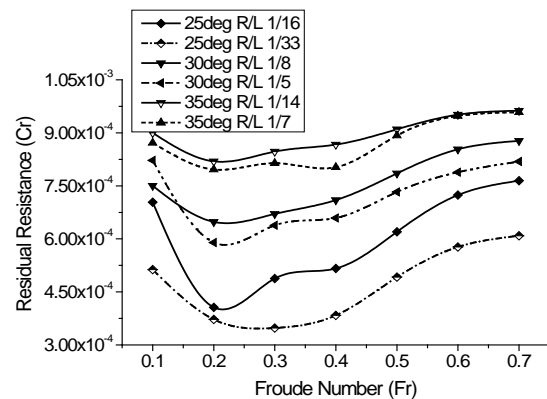
Gambar 7. Perbandingan hasil C_t antara eksperimen dan CFD dari lambung Wigley



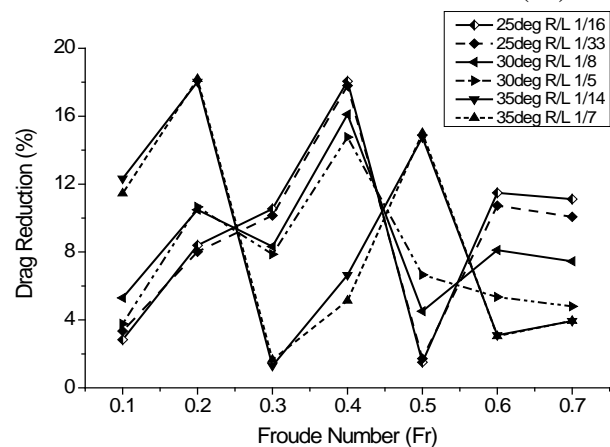
Gambar 8. Hasil koefisien hambatan total (C_t)



Gambar 9. Hasil koefisien hambatan gesek (C_f)

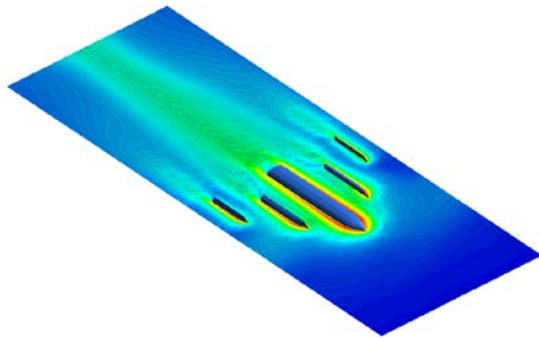


Gambar 10. Hasil koefisien hambatan sisa (C_r)

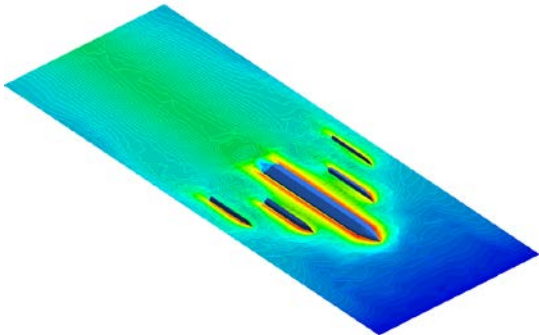


Gambar 11. Persentase penurunan hambatan

Kontur gelombang *volume fraction* dari simulasi CFD pada Fr 0.7 untuk model lambung Wigley dan chine ditunjukkan pada Gambar 12 dan Gambar 13. Terdapat perbedaan kontur dari gelombang pada model lambung Wigley dan masing-masing chine, dimana warna biru muda menunjukkan gelombang yang besar dibandingkan dengan warna biru tua. Hal tersebut mengidentifikasi bahwa model lambung Wigley menghasilkan gelombang yang lebih besar dibandingkan dengan model lambung chine.

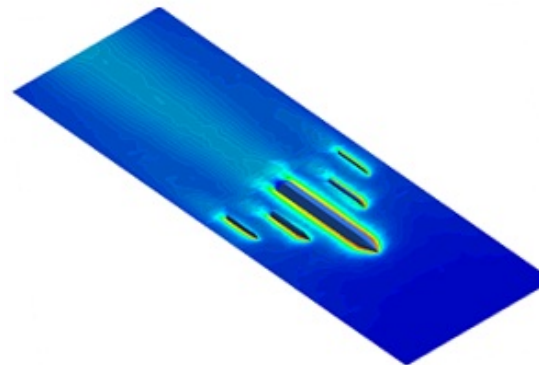


kontur aliran Wigley pada $z/L_{pp} = 0.035$, $Fn = 0.7$

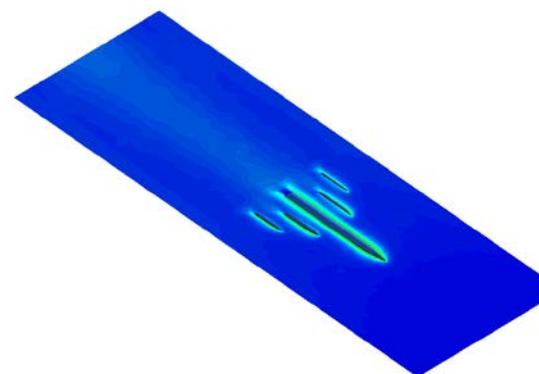


kontur aliran chine 25° pada $z/L_{pp} = 0.03$, $Fn = 0.7$

Gambar 12. Aliran permukaan bebas, z/L_{pp} , dari wave pattern



kontur aliran chine 30° pada $z/L_{pp} = 0.025$, $Fn = 0.7$



kontur aliran chine 35° pada $z/L_{pp} = 0.02$, $Fn = 0.7$

Gambar 13. Aliran permukaan bebas, z/L_{pp} , dari wave pattern

Kesimpulan

Perbandingan analisis CFD pada model lambung Wigley dan chine dengan inner dan outer asimetri menunjukkan kenaikan sudut deadrise berpengaruh terhadap penurunan hambatan. Penurunan hambatan terbesar terjadi pada sudut deadrise 35° hal ini akibat sudut yang besar sehingga efek gelombang yang terjadi antara lambung-lambung akan saling menghilangkan. Beberapa keuntungan dari bentuk lambung chine dibandingkan dengan Wigley adalah:

- Nilai C_t mempunyai kecenderungan kecil pada L/B yang besar dengan B/T dan H/T yang tetap;
- Peningkatan nilai C_t tidak terlalu fluktuatif terhadap kenaikan Fr ;
- Sudut deadrise terbesar semakin menurunkan nilai C_t
- Penurunan hambatan terbesar 18.19% terjadi pada sudut deadrise 35° Fr 0.2;

Penelitian berkelanjutan yang akan dilakukan adalah investigasi karakteristik hambatan pengaruh sudut masuk air dan sudut stem dari lambung.

DAFTAR PUSTAKA

- Bari, Ghazi S, and Konstantin I Matveev, (2016), Hydrodynamic modeling of planing catamarans with symmetric hulls. *Ocean Engineering* 115:60-66.
- Begovic, E, and C Bertorello, (2012), Resistance assessment of warped hull form. *Ocean Engineering* 56:28-42.
- Blazek J. 2001. *Computational Fluid Dynamics: Principles and Applications*. Elsevier Science Ltd, Oxford England.
- Blount, Donald L, (1995), Factors Influencing the Selection of a Hard Chine or Round-Bilge Hull for High Froude Numbers
- Chengyi, Wang, (1994), Resistance characteristic of high-speed catamaran and its application. *Shipbuilding of China* 3:003
- Hsiung, C.C. and Xu. H, (1988), Determining Optimal Forms of a Catamaran for Minimum Resistance by the Mat hematical Programming Met hodo'. *Schiffstechnik* Bd.35.
- Ikeda, Yoshiho, Emiko Nakabayashi, and Ai Ito, (2005), Concept design of a pentamaran type fast RoRo ship. *Journal of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers* 1:35-42.
- Michell, J.H., (1898), The Wave-Resistance of a Ship, *Philosophical Magazine, Series 5*. Vol. 45, Xo. 272, London, January, pp. 105-1 23.
- Moraes, HB, JM Vasconcellos, and RG Latorre, (2004), Wave resistance for high-speed catamarans. *Ocean Engineering* 31(17):2253-2282.

- Oller, Erik, Vasilios Nikou, and Konstantinos Psallidas, (2003), Focused Mission High Speed Combatant. DTIC Document.
- Peng, Hongxuan, (2001), Numerical computation of multi-hull ship resistance and motion, Dalhousie University Halifax.
- Recommended Procedure and Guidelines, (2002), Testing and Extrapolation Methods in Resistance Towing Tank Tests, ITTC 7.5-02-02-02.
- Yanuar, Gunawan, Kurniawan T. Waskito, and A. Jamaluddin, 2015. Experimental Study Resistances of Asymmetrical Pentamaran Model with Separation and Staggered Hull Variation of Inner Side-Hulls, International Journal of Fluid Mechanics Research, Vol. 42, No. 1.