

Analisa Bentuk *Foil* pada Kapal *Hydrofoil Supported-Catamaran (Hysucat)*

Yokhebert Natasya¹, Samuel¹, Berlian Arswendo¹

¹Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

Email: yokhebertsiahaan@gmail.com¹

Received 20 July 2020 | Revised 13 August 2020 | Accepted 31 August 2020

ABSTRAK

Kapal katamaran yang terintegrasi dengan foil bertujuan untuk menghasilkan performance lebih baik. Hydrofoil Supported-Catamaran (Hysucat) merupakan kapal katamaran yang dirancang untuk kecepatan tinggi menggunakan foil. Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan metode numerik untuk mempresentasikan aliran fluida menggunakan RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes). Aliran fluida pada penelitian ini menggunakan dua fasa yaitu air dan udara untuk menganalisis hambatan dan gaya angkat kapal katamaran yang telah dimodifikasi menjadi hysucat. Hysucat pada penelitian ini dibedakan oleh tiga macam bentuk foil yaitu lurus, sweep belakang dan sweep depan dengan tambahan variasi pada chord line dan sudut serang foil. Penambahan foil pada penelitian ini memberikan informasi bahwa hysucat dengan bentuk foil sweep belakang chord line 1.2 dan AOA (sudut serang) 0° mengurangi hambatan kapal sebesar 21% dari hambatan kapal katamaran tanpa foil. Gaya angkat tertinggi dihasilkan hysucat dengan bentuk foil sweep belakang chord line 1 dan AOA (sudut serang) 0° sehingga bentuk foil yang direkomendasikan untuk digunakan adalah sweep belakang.

Kata kunci: hysucat, hambatan, gaya angkat, foil, CFD

ABSTRACT

Catamaran hull-form using foil aims to produce better performance. Hydrofoil Supported-Catamaran (Hysucat) is a catamaran which is designed for high-speed craft using foil. This research was conducted with a numerical method approach to present fluid flow using RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes). The numerical method uses two phases, namely water phase, and air phase to analyze catamaran hull-form, which have been modified being hysucat. Hysucat is distinguished by three types of foil form namely straight foil, backward sweep foil, and forward sweep foil with additional variations in chord line and angle of attack (AOA). The addition of foil in this study provides information that hysucat with backward foil, chord line 1.2, and AOA 0° reduce ship resistance by 21% from catamaran resistance without foil. The highest lift force is produced by hysucat with backward foil, chord line 1 and AOA 0° so that foil form which is recommended to be used is backward sweep foil.

Keywords: hysucat, resistance, lift force, foil, CFD

1. PENDAHULUAN

Hydrofoil pada kapal memiliki banyak kelebihan sebagai contoh mengurangi hambatan dengan menambah kecepatan kapal dan menghasilkan gaya angkat (*lift*) dari *foil* yang ditambahkan dibawah lambung. *Hysucat (Hydrofoil Supported-Catamaran)* merupakan kapal jenis hybrid yaitu penggabungan kapal jenis *hydrofoil* dengan kapal katamaran yang dirancang oleh Hoppe. Kapal *hysucat* dirancang memiliki satu *foil* yang disebut *main foil* yang berada diantara lambung kapal berdekatan. Salah satunya adalah eksperimen *hysucat* kapal 2.405 m dengan tiga jenis *foil* yaitu: NACA 16, EPPLER 874, dan Gottingen 11k. Pada penelitian tersebut menyimpulkan bahwa hambatan total berkurang pada *Froude number* lebih dari 1 dengan menunjukkan jenis *foil* Gottingen 11k [1].

Hoppe pada tahun 1987 merancang kapal *hysucat* untuk mengangkat beban kapal kira-kira 40% -60% dari beban total kapal pada kecepatan tertentu. Pada penelitian tersebut dapat mengurangi hambatan 30% - 40% [2]. Pada penelitian lain tentang *foil* berhasil mengurangi hambatan sebesar 35% dari hambatan kapal tanpa *foil*. *Foil* yang digunakan peneliti ini merupakan NACA 641212 dengan bentuk *foil* lurus. Posisi *foil* dibawah CG disimpulkan bahwa memiliki hambatan paling kecil dibandingkan posisi lain [3]. Penelitian Hysucat dengan ukuran kapal yang sama yaitu 25 meter dilakukan oleh Bramantiko dengan menyimpulkan bahwa sudut serang (AOA) dan panjang chord *foil* sebanding dengan gaya angkat dan hambatannya. Semakin besar sudut serang *foil* maka semakin besar gaya angkat dan hambatan *foil* begitu juga dengan panjang chord *foil* [4].

Pada penelitian tentang komputasi numerik sudah pernah dilakukan dengan menggunakan *Finite element method* untuk mendapatkan hambatan kapal katamaran. Pada penelitian tersebut mengabaikan gerak kapal, kapal dianggap diam atau tidak bergerak dinamis [5]. Penelitian yang sama dilakukan samuel pada tahun 2017 untuk mengurangi hambatan kapal katamaran dengan menggunakan *bulbousbow*. Pada penelitian ini menghasilkan penurunan hambatan sebesar 25,76% [6].

Kapal katamaran yang sudah terintegrasi dengan *foil* akan disimulasikan menggunakan metode numerik. Penelitian ini diharapkan akan memberikan informasi tambahan tentang bentuk *foil* yang memberikan hambatan paling rendah dan gaya angkat paling tinggi terhadap kecepatan kapal hysucat. Sehingga penelitian ini dapat memberikan rekomendasi bentuk *foil* yang lebih baik digunakan pada kapal hysucat melalui nilai yang paling optimum. Penelitian ini adalah pengembangan penelitian sebelumnya tentang hambatan dan gaya angkat pada kapal hysucat dengan bentuk *foil sweep* belakang dan variasi pada sudut *sweep* dan sudut serangnya.

2. METODOLOGI

2.1 Tinjauan Pustaka

Hysucat

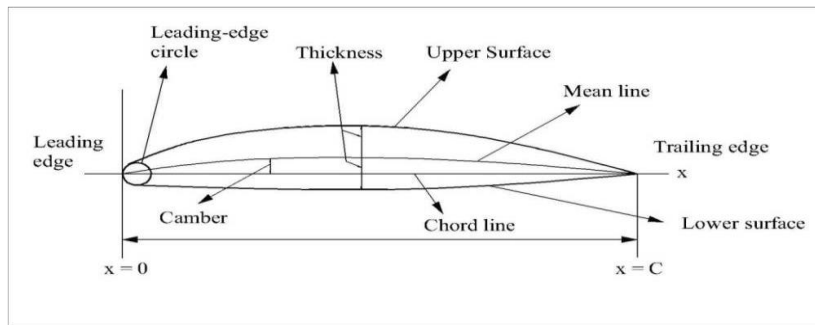
Hysucat (Hydrofoil Supported-Catamaran) merupakan kapal jenis hybrid yang menggunakan *foil* sebagai alat untuk menghasilkan gaya angkat dengan tujuan memperkecil hambatan kapal. *Foil* dirancang antara celah *demihull* dan terlindungi oleh lambung. Kekuatan katamaran ditingkatkan oleh *foil* di dekat lunas membentuk struktur seperti cincin yang menghubungkan dua *demihull* satu sama lain. Luas *foil* yang diperlukan untuk mengangkat sebagian berat kapal tergantung pada kecepatan kapal [2]. *Hysucat* hampir sama dengan *hydrofoil* dengan konfigurasi *foil* tandem tetapi disederhanakan dengan versi *monofoil*. Secara umum, *foil* diaplikasikan untuk menurunkan hambatan kapal sampai 40% [7]. Efisiensi lambung dan *foil* dapat dinyatakan dengan rasio *drag-lift* [8]:

$$e = D/L \tag{1}$$

Foil

Foil diciptakan untuk menghasilkan gaya angkat untuk mengurangi hambatan pada kapal. Gaya angkat bergantung pada geometri penampang foil. Gambar 1 menunjukkan definisi foil berdasarkan letaknya. Berikut bentuk geometri penampang secara umum [9]:

- *Leading edge*: sisi depan foil
- *Trailing edge*: sisi belakang foil
- *Chord*: jarak antara *leading edge* dan *trailing edge*
- *Chord line*: garis lurus yang menghubungkan *leading edge* dengan *trailing edge*
- *Mean chamber line*: garis yang membagi sama besar antara permukaan atas dan bawah
- *Maximum chamber*: jarak maksimal antara *chamber line* dan *chord line*
- *Maximum thickness*: jarak maksimal antara permukaan atas dan bawah
- *Leading edge radius*: jari-jari kelengkungan permukaan *leading edge*.



Gambar 1. Notasi foil [9]

Hambatan Katamaran

Persamaan hambatan kapal katamaran berbeda dengan kapal konvensional. Persamaan untuk total hambatan katamaran yang pernah diajukan oleh Insel dan Molland [10] adalah:

$$C_{tcat} = (1 + \beta k)C_f + \tau C_w \quad (2)$$

$$(1 + \beta k) = 3.03 (LV^{1/3})^{-0.4} \quad (3)$$

Kemudian persamaan (3) dimodifikasi menjadi:

$$(1 + \beta k) = 3.03 (LV^{1/3})^{-0.4} + 0.016 (S/L)^{-0.65} \quad (4)$$

τ merupakan interferensi komponen hambatan gelombang yang bergantung pada *Froude number*:

$$\tau = 0.068 (S/L)^{-1.38} \quad (\text{pada } Fr = 0.19) \quad (5)$$

$$\tau = 0.359 (S/L)^{-0.87} \quad (\text{pada } Fr = 0.28) \quad (6)$$

$$\tau = 0.574 (S/L)^{-0.33} \quad (\text{pada } Fr = 0.37) \quad (7)$$

$$\tau = 0.790 (S/L)^{-0.14} \quad (\text{pada } Fr = 0.47) \quad (8)$$

$$\tau = 0.504 (S/L)^{-0.31} \quad (\text{pada } Fr = 0.56) \quad (9)$$

$$\tau = 0.501 (S/L)^{-0.18} \quad (\text{pada } Fr = 0.65) \quad (10)$$

C_f merupakan koefisien hambatan gesek dengan persamaan dari ITTC-57 [11] yaitu:

$$C_f = \frac{0.075}{(\log_{10} Re-2)^2} \quad (11)$$

Cw adalah koefisien hambatan gelombang.

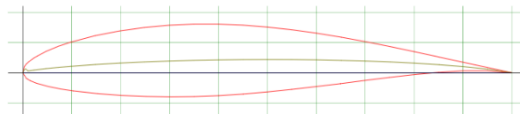
2.2 Objek Penelitian

Kapal yang digunakan sebagai objek dari penelitian ini adalah kapal katamaran yang merupakan kapal yang pernah diteliti dengan tema yang sama yaitu hysucat. Dimana peneliti sebelumnya menganalisis sudut *sweep* dan sudut serang *foil* yang optimal pada kapal hysucat [12]. Penelitian ini menggunakan KMP. Catamaran sebagai objek penelitian yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Dimensi ukuran utama kapal KMP. Catamaran

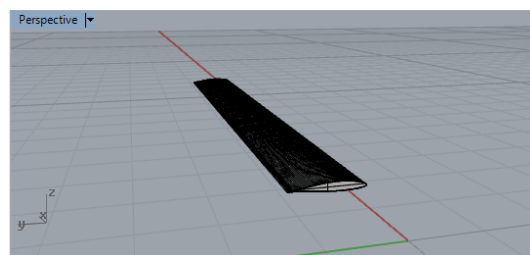
Dimensi	Ukuran	Unit
LOA	25.95	Meter
LWL	22.35	Meter
LPP	23.45	Meter
Bhull	3	Meter
B	9	Meter
T	1	Meter
H	3.5	Meter
Δ	58.191	Ton
LCG	0.585	Meter

Foil yang digunakan adalah NACA 63(1)-412 dengan geometri seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

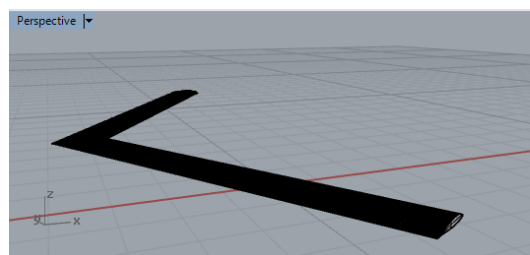


Gambar 2. NACA 63(1)-412 [13]

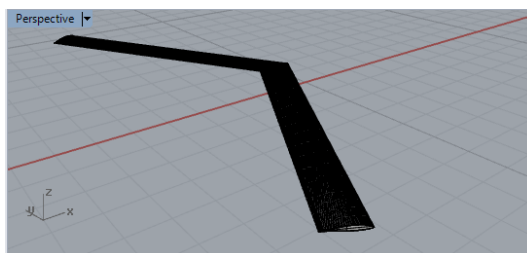
Model 3D katamaran didesain di CAD menggunakan polysurface agar kapal menjadi solid yang ditunjukkan pada Gambar 6. Bentuk dan geometri *foil* ditunjukkan pada Gambar 3, Gambar 4 dan Gambar 5 secara perspektif.



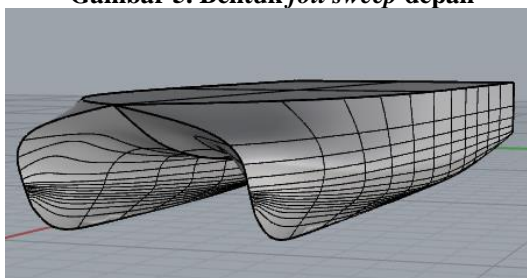
Gambar 3. Bentuk foil lurus



Gambar 4. Bentuk foil sweep belakang

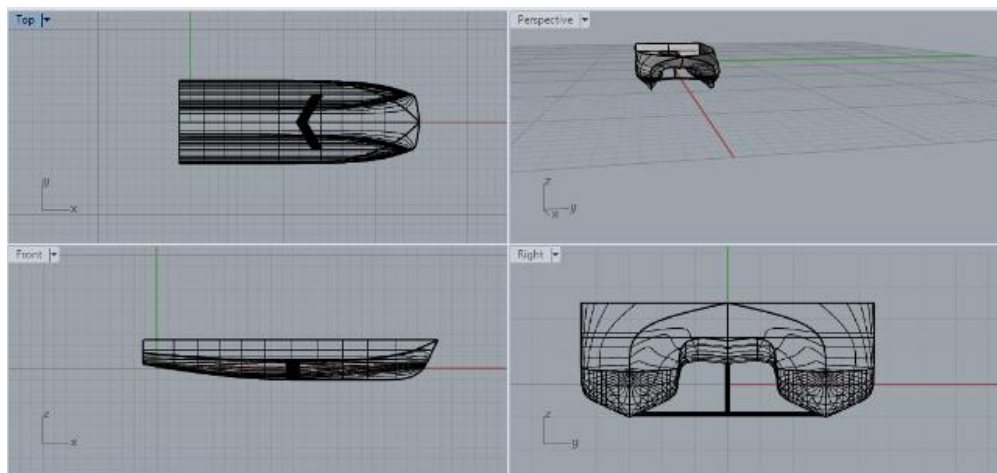


Gambar 5. Bentuk foil sweep depan



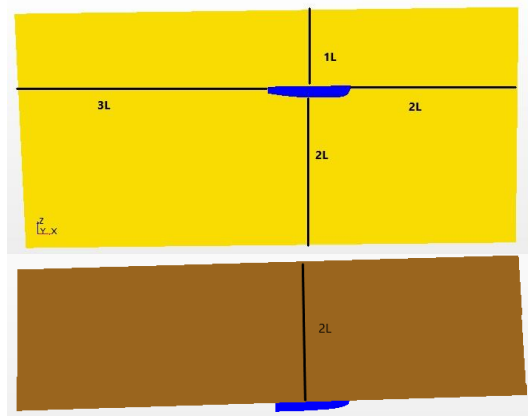
Gambar 6. 3D katamaran

Kapal katamaran digabungkan dengan tiap bentuk foil sehingga menjadi hysucat kemudian disimulasikan pada software CFD untuk mendapatkan gaya angkat dan hambatannya. Pada Gambar 7 menunjukkan bentuk kapal katamaran yang sudah dimodifikasi menjadi bentuk kapal hysucat.



Gambar 7. Hysucat foil sweep belakang chord line (CL) 1 AOA 0°

CFD menyelesaikan perhitungan numerik menggunakan persamaan RANS (*Reynolds-Averaged Navier-Stokes*). Ukuran kolam uji mengikuti rekomendasi ITTC dimana *boundary layer* inlet diposisikan 1-2L dari lambung kapal dan outlet 3-5L untuk menghindari refleksi gelombang [14]. Gambar 8 merepresentasikan bentuk simulasi CFD dalam kondisi kolam uji.

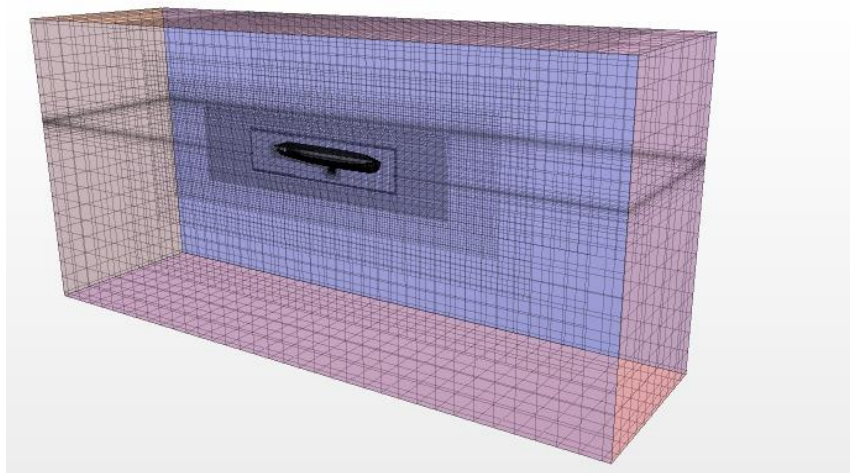


Gambar 8. Kolam uji simulasi kapal

Jumlah elemen mesh dapat memengaruhi waktu simulasi. Semakin banyak jumlahnya maka semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu kasus simulasi. Oleh sebab itu, konsentrasi mesh yang rapat hanya pada bagian-bagian yang kompleks saja seperti *freesurface* dan lambung kapal. Pada Gambar 9 dan Tabel 2 merepresentasikan ukuran mesh yang dipakai.

Tabel 2. Ukuran mesh

No.	Nama Bagian	Dimensi
1	Kolam uji	0.04L
2	Blok 1	0.013L
3	Blok 2	0.02L
4	Kapal	0.0004L
5	<i>Freesurface</i>	0.005L



Gambar 9. Kerapatan mesh

Boundary layer pada dinding model menggunakan *wall function* (y^+) dimana rekomendasi ITTC $30 < y^+ < 100$. Persamaan *wall function* adalah:

$$\frac{y}{L} = \frac{y^+}{Re \sqrt{\frac{C_f}{2}}} \quad (12)$$

Time step rekomendasi ITTC yaitu:

$$\Delta t_{ITTC} = 0.005 \sim 0.01 L/U \quad (13)$$

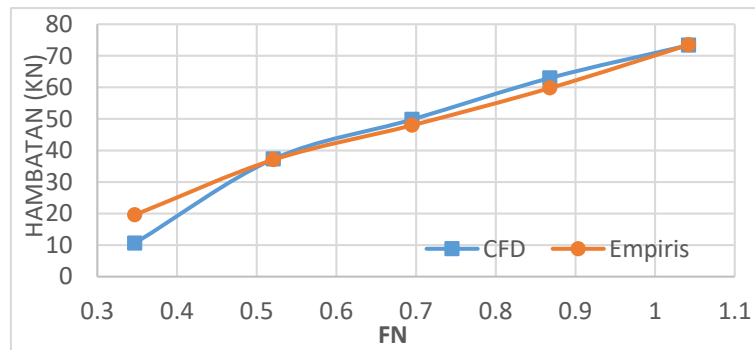
Δt merupakan *time-step* dimana 0.005 batas bawah dan 0.01 batas atas, L adalah panjang kapal dan U adalah kecepatan kapal. Courant number atau CFL merupakan perbandingan *physical time step* dengan *time scale mesh*.

$$CFL = \frac{U \Delta t}{\Delta x} \quad (14)$$

Dengan nilai CFL dapat diketahui simulasi konvergen atau tidak. Tetapi hal ini tidak berfungsi untuk *implicit unsteady* yang ditentukan oleh property alirannya.

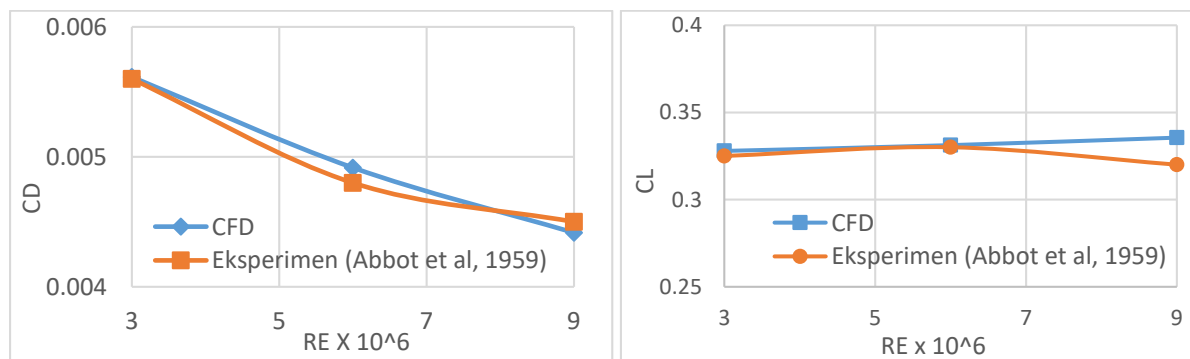
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum menganalisis hysucat, katamaran dan *foil* akan divalidasi secara terpisah. Simulasi katamaran divalidasi dengan perhitungan empiris sedangkan simulasi *foil* divalidasi dengan eksperimen oleh Ira H. Abbot dan Albert E. Von Doenhoff [15].



Gambar 10. Perbandingan CFD dan empiris hambatan katamaran

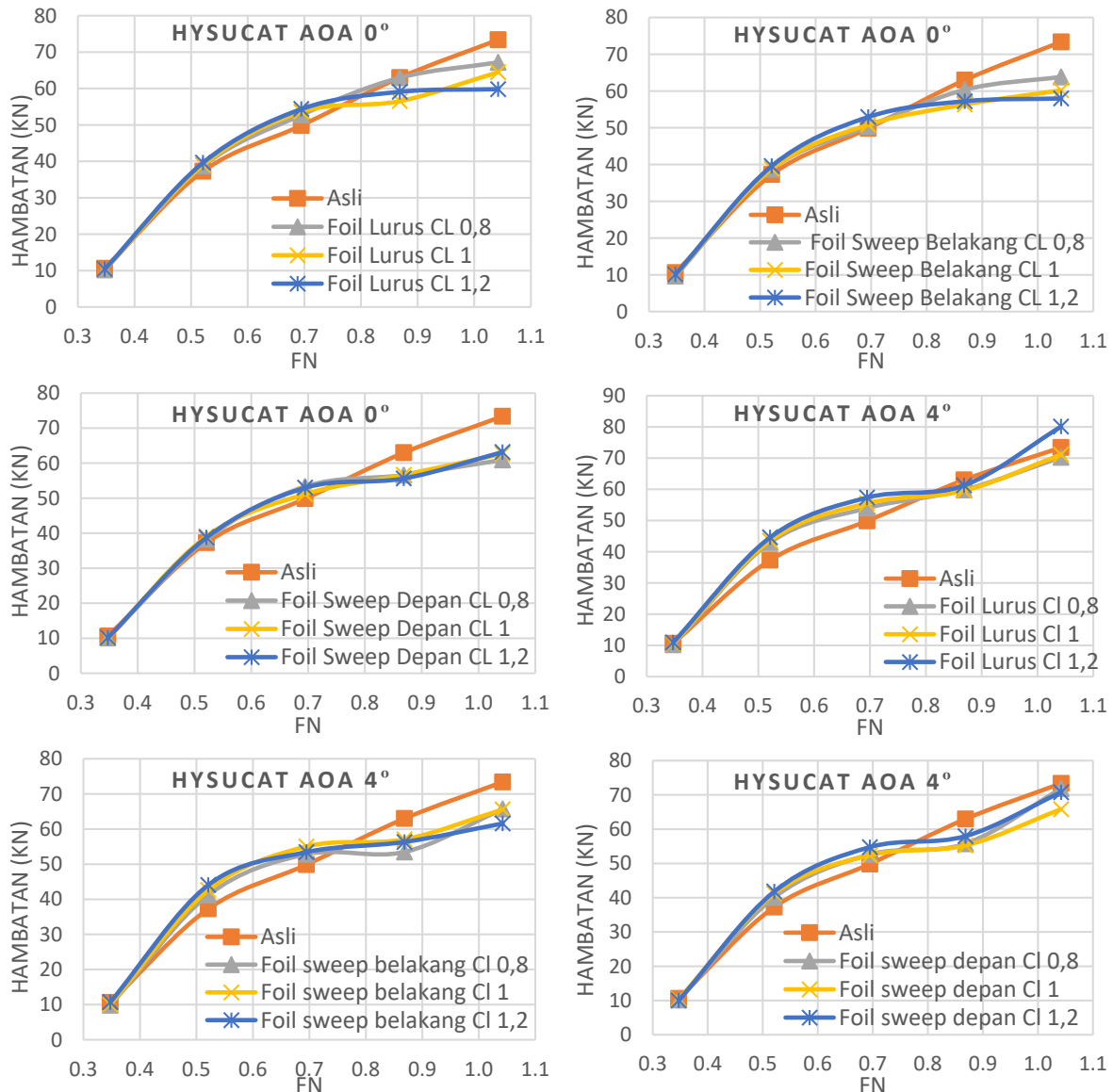
Hasil simulasi CFD pada Gambar 10 menunjukkan perbandingan perhitungan empiris dan CFD yang akurat. Hal ini telah dibahas oleh Jamaluddin [16] bahwa koefisien hambatan total dari hasil eksperimen lebih besar 25% dari hasil teori pada $Fn < 0.5$. Selain itu, simulasi CFD kapal cepat yang telah dilakukan Samuel memberikan hasil yang akurat sesuai eksperimen pada $Fn = 0.59$ dan ketidakmampuan perhitungan numerik pada kecepatan tinggi [17].



Gambar 11. Perbandingan koefisien drag dan koefisien lift foil

Gambar diatas menunjukkan CL dan CD *foil* memiliki perbandingan yang sangat kecil. Validasi katamaran dan *foil* dapat dikatakan tervalidasi antara CFD dengan perbandingannya sehingga

pengaturan dan ukuran mesh pada simulasi validasi dapat digunakan untuk mendapatkan hambatan dan gaya angkat kapal hysucat.



Gambar 12. Perbandingan hambatan hysucat tiap bentuk foil dan variasinya

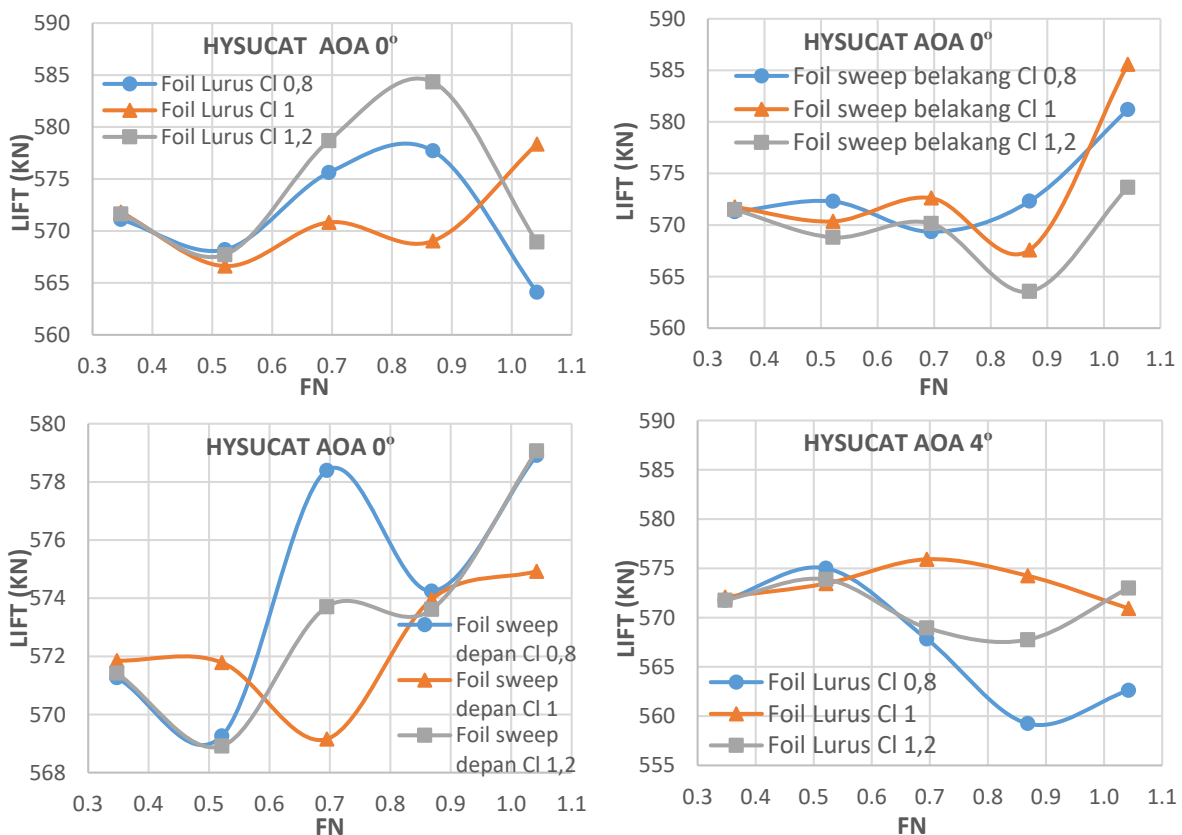
Dari Gambar 12 dapat dilihat bahwa pada Fn 0.347 hysucat dari tiap bentuk foil dan variasinya mengalami sedikit pengurangan. Dan jika perhitungkan dari nilainya pengurangan pada kecepatan 10 knot berada dibawah 10% dimana hysucat dengan bentuk foil sweep belakang CI 0.8 AOA 0° mengalami penurunan tertinggi yaitu 9.02%. Fn 0.521 dan 0.694 mengalami kenaikan hambatan, Fn 0.868 dan 1.042 mengalami penurunan kecuali pada hysucat foil lurus CI 1.2 AOA 4° mengalami kenaikan hambatan sebesar 9.12%. Dari semua bentuk foil dengan variasinya, hysucat yang memiliki hambatan terkecil adalah hysucat sweep belakang CI 1.2 AOA 0° pada kecepatan 30 knot dimana hambatan yang dihasilkan 57.95 KN yang mengalami penurunan sebesar 21% dari hambatan 73.37 KN.

Gambar menunjukkan bahwa semakin cepat kapal bergerak maka hambatan akan semakin menurun. Sudut serang memengaruhi penurunan hambatan dimana sudut serang 0° memiliki hambatan lebih kecil dibandingkan 4°. Sedangkan untuk panjang chord memberikan hasil semakin cepat kapal maka panjang chord foil semakin besar agar hambatan semakin kecil.

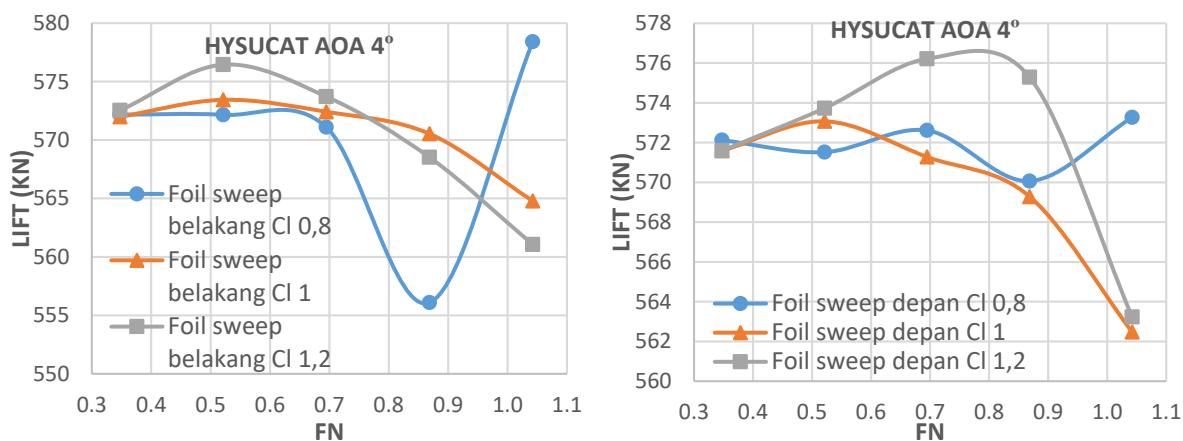
Gambar diatas menunjukkan hasil yang berbeda dengan hambatan dimana kecepatan tidak memengaruhi gaya angkat. Gaya angkat pada tiap kecepatan ada yang naik dan ada yang turun. Panjang *chord* juga tidak dapat memprediksi gaya angkat. Tetapi pada sudut serang, simulasi menunjukkan bahwa sudut serang 4° memiliki gaya angkat yang lebih tinggi dibandingkan sudut serang 0°.

Gaya angkat tiap hysucat sama dengan hambatan yaitu perbedaan yang sangat sedikit pada Fn 0.347. Tetapi jika dilihat dari nilainya maka gaya angkat paling tinggi pada Fn 0.347 adalah hysucat dengan *sweep* belakang CI 1.2 AOA 4°. Hysucat *sweep* belakang CI 1.2 AOA 4° juga memiliki gaya angkat tertinggi pada kecepatan 15 knot. Sedangkan pada kecepatan 20 knot dan 25 knot, hysucat *foil* lurus CI 1.2 AOA 0° yang menghasilkan gaya angkat tertinggi dan pada kecepatan 30 knot, gaya angkat tertinggi dihasilkan hysucat *foil sweep* belakang CI 1 AOA 0° dengan gaya angkat yang dihasilkan adalah 585.5761 KN.

Nilai optimum hysucat dapat dicari menggunakan perbandingan hambatan dan gaya angkat dimana yang dilihat dari persentase efisiensi yang paling kecil. Nilai optimum dapat mengindikasikan gaya angkat yang dihasilkan tinggi dengan hambatan yang rendah. Dari hasil perbandingan dapat ditentukan bahwa setiap kecepatan memberikan bentuk *foil* hysucat yang berbeda-beda. *Foil* hysucat yang memiliki nilai optimum tertinggi pada kecepatan 10 knot adalah hysucat dengan bentuk *foil sweep* belakang CI 0.8 AOA 0°. Kecepatan 15 knot memberikan hasil hysucat *sweep* depan dengan CI dan AOA yang sama dengan kecepatan 10 knot. Pada Fn 0.695, nilai yang paling optimum adalah hysucat dengan bentuk *foil sweep* belakang begitu pula dengan Fn 0.868 dan 1.042. Tetapi pada Fn 0.695 *chord line*-nya adalah 0.8 AOA 0°. Fn 0.868 CI-nya sama dengan sebelumnya 0.8 dan AOA 4°. Sedangkan kecepatan 30 knot CI nya adalah 1.2 dengan AOA 0°. Hasil perhitungan ini ditunjukkan pada Gambar 13.



Analisa Bentuk Foil pada Kapal Hydrofoil Supported-Catamaran (Hysucac)



Gambar 13. Perbandingan gaya angkat hysucac tiap bentuk foil dan variasinya

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini memberikan informasi bahwa hambatan terkecil dengan penurunan terbesar dihasilkan oleh foil hysucac dengan bentuk *sweep* belakang yang ditambah variasi *chord line* (CI) 1.2. Penurunan hambatan yang dihasilkan hysucac sebesar 21%. Foil hysucac dengan bentuk *sweep* belakang CI 1 dan AOA 0° pada Fn 1.042 menghasilkan gaya angkat yang paling tinggi. Hysucac yang memiliki persentase efisiensi paling kecil adalah bentuk foil *sweep* belakang CI 0.8 AOA 0° pada Fn 0.347 dengan efisiensi sebesar 1.68% dan efisiensi terbesar adalah foil lurus CI 1.2 AOA 4° pada Fn 1.042. Sehingga bentuk foil yang direkomendasikan untuk digunakan adalah foil *sweep* belakang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Najafi, H. Nowruzi, and H. Ghassemi, "Performance prediction of hydrofoil- supported catamarans using experiment and ANNs," *Appl. Ocean Res.*, vol. 75, pp. 66–84, 2018, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.apor.2018.02.017>.
- [2] K. G. W. Hoppe, "U . S . Patent Aug 11 , 1987," 1987.
- [3] R. Y. Dikantoro and I. K. Suastika, "Analisis Hambatan Penggunaan Hydrofoil pada Katamaran Menggunakan CFD," *J. Tek. ITS*, vol. 7, no. 1, 2018.
- [4] A. Bramantiko, "Analisa dan Optimasi dari Hydrofoil Supported Catamaran (Hysucac) dengan Ukuran 25 Meter Menggunakan Metode CFD," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2015.
- [5] Samuel, M. Iqbal, and I. K. A. . Utama, "An Investigation Into the Resistance Components of Converting A Traditional Monohull Fishing Vessel Into Catamaran Form," *Int. J. Technol.*, pp. 432–441, 2015.
- [6] Samuel, D. J. Kim, M. Iqbal, A. Bahatmaka, and A. R. Prabowo, "Modification of traditional catamaran to reduce total resistance: configuration of centerbulb," *Marit. Transp. Harvest. Sea Resour.*, vol. 1, no. April 2020, pp. 541–546, 2016.
- [7] G. Migeotte and K. G. Hoppe, "Developments in Hydrofoil Assistance for Semi-Displacement Catamarans," in *FAST 1999, 5th Internatinal Conference on Fast Sea Transportation*, 1999.
- [8] K. G. W. Hoppe, "The Hysucac Development," 1989.
- [9] A. S. Slamet and K. Suastika, "Kajian Eksperimental Pengaruh Posisi Perletakan Hydrofoil Pendukung Terhadap Hambatan Kapal," *J. Tek. ITS*, vol. 1, no. 1, pp. 1–4, 2012.
- [10] M. Insel and A. F. Molland, "An Investigation Into Resistance Components of High Speed Displacement Catamarans," *RINA*, vol. 134, no. 1, pp. 1–20, 1992.
- [11] ITTC, "Resistance, Uncertainty Analysis, Example for Resistance Test," 2002, pp. 1–17.
- [12] D. Ade *et al.*, "Analysis of Swept Main Foil's Angle Change Againts Lift & Resistance on Hydrofoil Supported Catamaran (Hysucac)," vol. 8, no. 1, pp. 1–9, 2020.
- [13] Winda and Wet, "NACA 63(1)-412 AIRFOIL," 2020. <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=n63412-il>.
- [14] ITTC, "Practical Guidelines for Ship CFD Applications," in *ITTC – Recommended Procedures and Guidelines ITTC*, 2014, pp. 1–8.
- [15] I. H. Abbott and A. E. Von Doenhoff, *Theory of wing sections*. New York: General Publishing Company, Ltd, 1959.

- [16] A. Jamaluddin, I. K. Pria, and A. Hamdani, “Kajian Interferensi Koefisien Hambatan pada Lambung Katamaran melalui Komputasi ‘Slender Body Method,” *Kapal*, vol. 7, no. 2, pp. 1–1, 2012, doi: 10.12777/kpl.7.2.
- [17] Samuel, A. Trimulyono, and A. W. B. Santosa, “Simulasi CFD pada Kapal Planing Hull,” *Kapal J. Ilmu Pengetah. dan Teknol. Kelaut.*, vol. 16, no. 3, pp. 123–128, 2019, doi: 10.14710/kapal.v16i3.26397.

