

VALIDASI FOIL DAN KAPAL HYDROFOIL SUPPORTED CATAMARAN (HYSUCAT)

Yokhebert Natasya S P¹⁾, Samuel²⁾, Berlian Arswendo²⁾

Teknik Perkapalan, Universitas Diponegoro, Indonesia

Email: yokhebertsiahaan@gmail.com

Abstract – Perkembangan teknologi menghasilkan kapal katamaran ditambah foil untuk menghasilkan kapal yang lebih cepat dan efisien. Hydrofoil Supported Catamaran (Hysucacat) merupakan kapal jenis hybrid yaitu penggabungan kapal katamaran dengan hydrofoil yang dirancang Karl-Gunther W.Hoppe untuk mengurangi hambatan kapal. Hysucacat dirancang memiliki satu main foil yang berada dibawah LCG kapal dan dekat dengan garis lunas serta menjadi penghubung dua demihulls. Hysucacat juga memiliki trim foil pada bagian belakang kapal yang terdiri dari dua foil dengan ukuran setengah dari ukuran main foil. Pada penelitian ini akan menggunakan metode numerik untuk menyelesaikan permasalahan turbulensi dengan menggunakan RANS. CFD pada penelitian ini akan menggunakan dua fasa yaitu air dan udara. Pada penelitian ini akan menganalisa bentuk aliran yang akan digunakan pada penelitian selanjutnya, sebagai inisiasi penggunaan foil pada kapal katamaran. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa foil 63(1)412 dan kapal katamaran menghasilkan nilai yang mirip antara perhitungan numerik dengan eksperimen.

Kata kunci: Validasi, CFD, Kapal katamaran, Foil

I. PENDAHULUAN

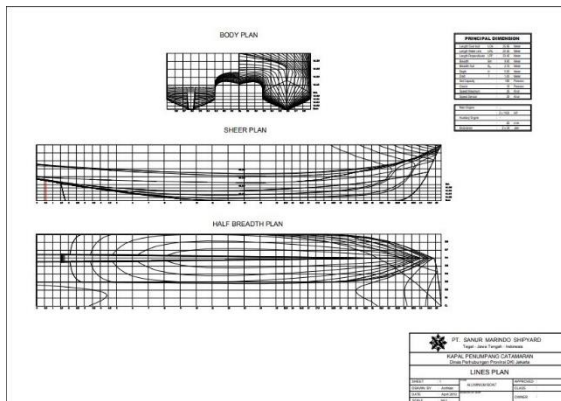
Penemuan teknologi semakin berkembang seiring berjalannya waktu. Teknologi yang ada salah satunya berada pada teknologi transportasi laut terutama kapal. Hydrofoil pada kapal memiliki banyak kelebihan sebagai contoh mengurangi hambatan yang dapat menambah kecepatan kapal dengan menghasilkan gaya angkat (lift) dari foil yang ditambahkan di bawah lambung. Hysucacat (Hydrofoil Supported Catamaran) merupakan kapal jenis hybrid yaitu penggabungan kapal jenis hydrofoil dengan kapal katamaran yang dirancang oleh Karl-Gunther W. Hoppe. Kapal hysucacat dirancang memiliki satu foil yang disebut main foil yang berada diantara dua demihulls dekat garis lunas yang membentuk struktur penghubung dua demihulls. Penelitian mengenai hysucacat sudah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya. Salah satunya adalah penelitian eksperimen hysucacat pada kapal 2,405 m dengan tiga jenis foil NACA 16, EPPLER 874 dan Gottingen 11k menyimpulkan bahwa hambatan total berkurang pada Froude number lebih dari 1 dengan menunjukkan Gottingen 11k lebih baik dari kedua foil yang diteliti [1]. Dr. K. G. W. Hoppe mengatakan hysucacat dirancang untuk mengangkat beban kapal kira-kira 40%-60% dari beban kapal pada kecepatan tertentu dan luas permukaan kapal berkurang sehingga mengurangi hambatan kira-kira 30%-40% [2]. Penelitian lain mengenai hysucacat adalah

perubahan posisi foil secara memanjang yaitu posisi CG kapal, 3CG kearah stern kapal dan 6CG ke arah stern kapal dengan ukuran kapal katamaran 44 m. Dari penelitian ini didapatkan hasil bahwa hambatan kapal berkurang sebesar 65,018 KN dan mengurangi hambatan 35% dari hambatan kapal tanpa foil dengan foil berada di posisi bawah CG. Foil yang digunakan peneliti ini merupakan NACA 641212 dengan bentuk foil lurus. Posisi foil bawah CG ditemukan memiliki hambatan paling kecil dibandingkan posisi lain [3]. Sebelum memodifikasi sebuah benda diperlukan validasi untuk memastikan bahwa perhitungan yang dimasukkan sudah benar. Penelitian ini akan menggunakan perhitungan numerik yaitu RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes) untuk menganalisa bentuk aliran yang akan digunakan di penelitian selanjutnya, modifikasi kapal katamaran menjadi hydrofoil supported catamaran, dengan metode CFD. Dari penelitian ini diharapkan bahwa foil 63(1)412 dan kapal katamaran yang akan digunakan tervalidasi dengan eksperimen untuk foil dan perhitungan manual untuk kapal katamaran.

II. OBJEK PENELITIAN

Kapal yang digunakan sebagai objek dari penelitian ini adalah kapal katamaran yang merupakan kapal yang pernah diteliti dengan tema yang sama yaitu hysucacat [4]. Dimana peneliti sebelumnya menganalisis sudut sweep

dan sudut serang foil yang optimal pada kapal hysucat.

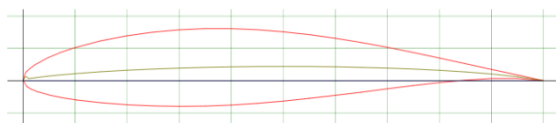


Gambar 1. Lines Plan kapal katamaran

Tabel 1. Dimensi ukuran utama kapal KMP. Catamaran

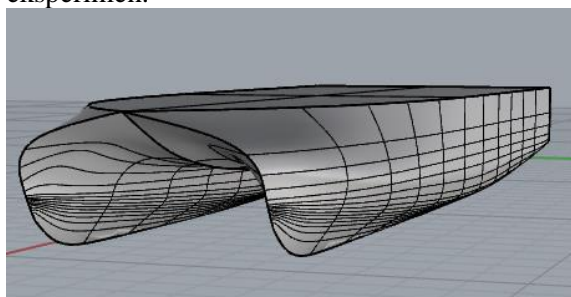
Dimensi	Ukuran	Unit
LOA	25.95	Meter
LWL	22.35	Meter
LPP	23.45	Meter
B _{hul}	3	Meter
B	9	Meter
T	1	Meter
H	3.5	Meter
Δ	58.191	Ton
LCG	0.585	Meter

Untuk foil peneliti menggunakan foil NACA 63(1)-412 dengan geometri

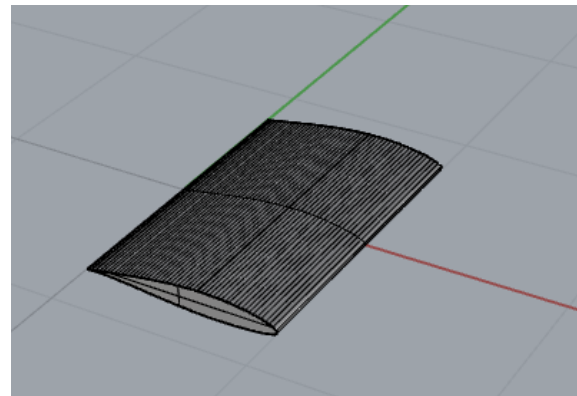


Gambar 2. NACA 63(1)412

Dari lines plan katamaran, dibuat model tiga dimensi menggunakan polysurface agar bentuk kapal menjadi solid atau tertutup. Begitu pula dengan foil, melalui geometri yang didapat dari [5] foil akan di-extrude sesuai dengan span eksperimen.



Gambar 3. Tiga dimensi kapal katamaran



Gambar 4. Tiga dimensi NACA 63(1)412

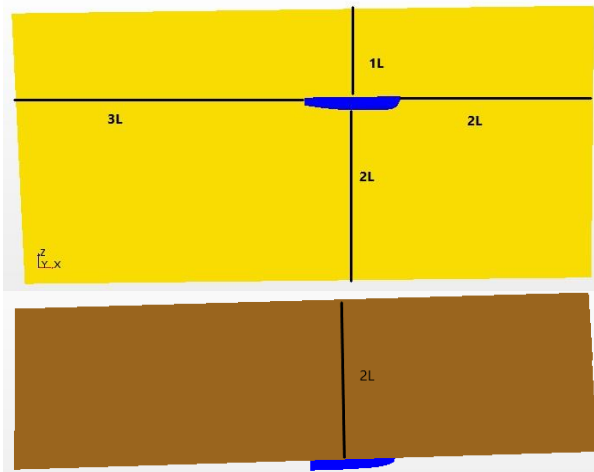
III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode CFD (Computational Fluid Dynamic) untuk mendapatkan nilai hambatan kapal dan C_I dan C_d foil. CFD menyelesaikan perhitungan numerik menggunakan persamaan Reynolds-Averaged Navier-Stokes. Langkah pertama penyelesaian CFD adalah pre-processing dimana terdapat pendefinisian geometri, meshing dan memasukkan setup komputasi. Pada pendefinisian geometri, objek yang akan dianalisis menggunakan software CFD haruslah solid agar tidak terjadi error dalam proses simulasi. Solid yang dimaksud pada bagian ini adalah model tidak boleh mengalami kebocoran geometri dimana semua surface model harus dalam keadaan tertutup. Untuk mendefinisikan aliran fluida dalam hal ini air dan udara maka dibutuhkan domain sebagai pengujian towing tank.

Pada simulasi kapal akan digunakan fitur overset sehingga domain yang dibuat ada dua bagian yaitu background sebagai domain utama dan overset sebagai bagian yang mencakup badan kapal serta yang dapat membuat badan kapal bergerak secara bebas dan tidak kaku. Penggunaan fitur overset mesh adalah untuk menghemat jumlah mesh dalam konsentrasi mesh pada bagian tertentu tanpa memengaruhi hasil akurat terutama kapal ukuran asli [6]. Simulasi ini akan menggunakan ukuran kapal asli dengan hanya setengah badan kapal agar mengurangi kerumitan komputasi.

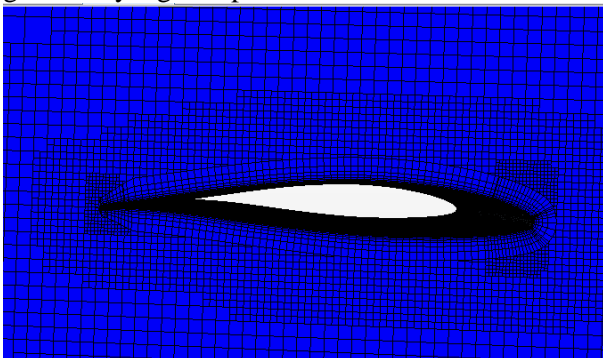
Ukuran domain utama mengikuti rekomendasi ITTC (International Towing Tank Conference) dimana dikatakan boundary harus diletakkan sejauh mungkin dari model untuk mengurangi efek dari lokasi dari boundary ini dalam penyelesaiannya. Untuk inlet dan boundary luar diletakkan sejauh 1-2L dari surface model

Sedangkan outlet harus diletakkan 3-5L untuk menghindari refleksi gelombang [7].

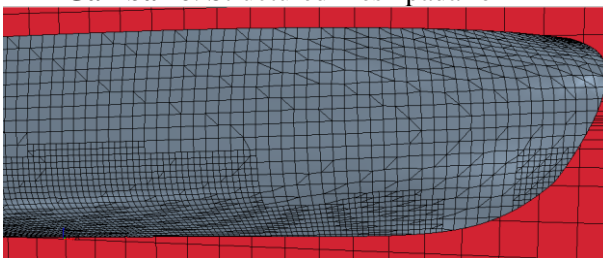


Gambar 5. Kolam uji simulasi kapal

Setelah bagian pendefinisian geometri, langkah selanjutnya adalah meshing. Meshing merupakan langkah penting dalam komputasi sebab keakuratan hasil bergantung pada ukuran bentuk elemen mesh. Ada dua jenis mesh yaitu structured mesh dan unstructured mesh. Kedua jenis mesh ini memiliki kelebihan dan kekurangan. Misalnya pada structured mesh, kelebihan adalah kebutuhan memori yang digunakan sedikit tetapi kelemahannya sulit menciptakan geometri yang kompleks sedangkan unstructured mesh sering dihasilkan oleh geometri yang kompleks.



Gambar 6. Structured mesh pada foil



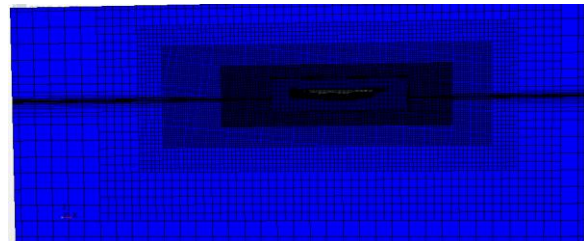
Gambar 7. Unstructured dan structured mesh pada kapal

Dari gambar 6 dan gambar 7 dapat diketahui bahwa structured mesh memiliki bentuk segi empat atau quadrilateral sedangkan unstructured merupakan segitiga. Pada gambar 7 bagian kapal yang kompleks akan langsung didefinisikan sebagai unstructured.

Konsentrasi mesh memengaruhi kecepatan penyelesaian simulasi. Semakin rapat mesh maka akan semakin banyak jumlah elemen dan membutuhkan waktu yang lama dalam penyelesaiannya. Agar jumlah elemen tidak terlalu besar maka dibutuhkan konsentrasi mesh pada bagian-bagian yang kompleks dan free surface. Konsentrasi mesh akan menggunakan metode anisotropic pada free surface dan isotropic pada bagian lain.

Tabel 2. Ukuran mesh kapal

No	Nama Bagian	Dimensi
1	Kolam Uji	0.04L
2	Blok 1	0.013L
3	Blok 2	0.02L
4	Kapal	0.0004L
5	Free Surface	0.005L



Gambar 8. Kerapatan mesh pada kolam uji

Untuk menentukan boundary layer pada dinding model digunakan wall function (y^+). Dalam menentukan y^+ , ITTC merekomendasikan $30 < y^+ < 100$. Dengan persamaan untuk mendapatkan nilai grid titik pertama adalah

$$\frac{y}{L} = \frac{y^+}{Re \sqrt{\frac{C_f}{2}}}$$

Untuk menentukan time step yang sesuai dengan model kapal, ITTC merekomendasikan ukuran time step yaitu:

$$\Delta t_{ITTC} = 0.005 \sim 0.01L/U \quad (1)$$

Dari persamaan (1) Δt merupakan time step yang akan digunakan. 0.005 adalah batas bawah dan 0.01 adalah batas atas menurut ITTC. L disini merupakan panjang kapal dan U adalah kecepatan kapal. Persamaan ini dapat memberi pertimbangan CFL atau courant number dimana

merupakan perbandingan physical time step dengan time scale mesh.

$$CFL = \frac{U \Delta t}{\Delta x} \quad (2)$$

Dengan nilai CFL kita dapat mengetahui apakah simulasi konvergen atau tidak. Tetapi hal ini hanya berfungsi untuk simulasi explicit unsteady sedangkan implicit unsteady ditentukan oleh property alirannya bukan courant number. Explicit unsteady harus memiliki nilai $CFL \leq 1$. Oleh sebab itu, simulasi ini hanya akan menggunakan time implicit unsteady.

Setelah langkah pre-processing dilanjutkan dengan solver kemudian post processor. Solver adalah langkah penyelesaian dan post processor memberikan hasil yang dapat kita lihat melalui grafik atau gambar pola aliran.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum memulai analisis modifikasi kapal katamaran menjadi hysucat terutama ada tahap validasi. Tahap validasi adalah tahap untuk membandingkan hasil CFD dengan hasil eksperimen atau hasil perhitungan empiris. Yang dibandingkan merupakan kapal sebelum ditambahkan foil dan divariasikan. Foil yang digunakan juga divalidasi dengan eksperimen yang pernah dilakukan oleh Ira H. Abbot dan Albert E. Von Doenhoff dengan aliran two dimensional dan Reynolds number sebesar 3×10^6 [8]. Kapal dengan perhitungan numerik akan dibandingkan dengan perhitungan empiris menggunakan persamaan molland yang telah dikembangkan. Hambatan total katamaran menggunakan rumus:

$$C_{TCAT} = (1 + \phi k) \sigma C_F + \tau C_W \quad (3)$$

dimana $(1 + \phi k) \sigma C_F$ dapat menjadi $(1 + \beta k)$ sehingga menjadi:

$$C_{TCAT} = (1 + \beta k) C_F + \tau C_W \quad (4)$$

$$(1 + \beta k) \text{ dimodifikasi menjadi } (1 + \beta k) = 3.03 (L/V^{1/3})^{-0.40} + 0.016 (S/L)^{-0.65} \quad (5)$$

τ merupakan interferensi komponen hambatan gelombang bergantung pada Froude number [9].

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

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

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

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

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

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

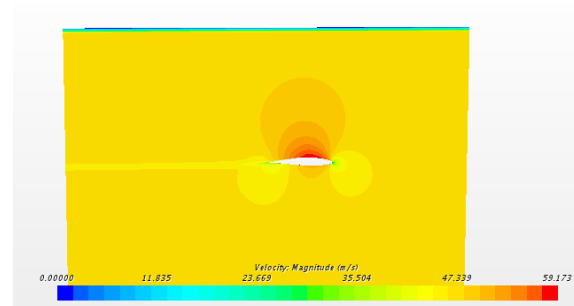
Kapal yang divalidasi menggunakan Froude number 0,521 dimana kecepatannya adalah 7,716 m/s. Dari hasil simulasi CFD didapatkan

bahwa foil akan valid jika model turbulensi adalah spalart-allmaras.

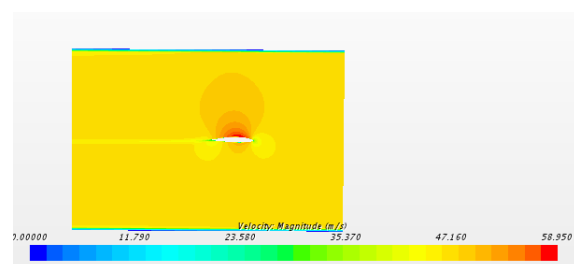
Tabel 3. Validasi foil

Nama	CFD	Eksperimen	Koreksi
Cd Spalart	0.0056	0.0055	1.8%
Cl Spalart	0.304	0.3	1.3%
Cd k-w	0.0094	0.0055	70.9%
Cl k-w	0.284	0.3	5.33%
Cd k-ε	0.0095	0.0055	72.7%
Cl k-ε	0.286	0.3	4.66%

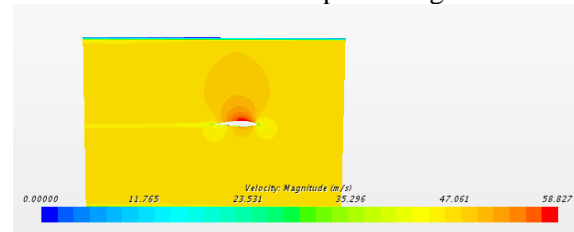
Validasi diatas menunjukkan perbedaan yang jauh pada koefisien drag untuk k-ε dan k-w. Spalart-Allmaras lebih baik digunakan pada foil yang menggunakan fluida udara [10] [11].



Gambar 9. Aliran kecepatan magnitude spalart-Allmaras



Gambar 10. Aliran kecepatan magnitude k-ε



Gambar 11. Aliran kecepatan magnitude k-w

Dari gambar 9, 10, 11 menunjukkan bahwa aliran fluida udara dari kecepatan magnitude tidak berbeda secara signifikan.

Pada kapal sendiri hasil CFD dengan perhitungan empiris tidak menunjukkan

perbedaan yang jauh atau berada dibawah koreksi yaitu 5%.

Tabel 4. Validasi kapal

Nama	CFD	Empiris	Koreksi
Kapal	18647	18113	2.9%

KESIMPULAN

CFD adalah metode yang paling sering digunakan untuk menyelesaikan dinamika fluida karena lebih efisien waktu dan fleksibilitas geometri. Dari hasil dan pembahasan dapat diketahui bahwa foil dan kapal memiliki hasil yang akurat sesuai dengan perbandingannya. Pada foil dengan turbulensi yang berbeda, CFD akan memberikan hasil yang berbeda.

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] D. Ade *et al.*, "Analysis of Swept Main Foil's Angle Change Againsts Lift & Resistance on Hydrofoil Supported Catamaran (Hysucat)," vol. 8, no. 1, pp. 1–9, 2020.
- [5] Winda and Wet, "NACA 63-412 AIRFOIL," 2020. <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=n63412-il>.
- [6] T. Tezdogan, Y. K. Demirel, P. Kellett, M. Khorasanchi, A. Incecik, and O. Turan, "Full-scale unsteady RANS CFD simulations of ship behaviour and performance in head seas due to slow steaming," *Ocean Eng.*, vol. 97, pp. 186–206, 2015, doi: 10.1016/j.oceaneng.2015.01.011.
- [7] ITTC, "Practical Guidelines for Ship CFD Applications," *ITTC – Recomm. Proced. Guidel. ITTC*, pp. 1–8, 2014.
- [8] I. H. Abbott and A. E. Von Doenhoff, *Theory of wing sections*. New York: General Publishing Company, Ltd, 1959.
- [9] 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.
- [10] M. Iacono, S. Mancini, and E. Begovic, "Hydrodynamics of Planing Hull," University of Naples Federico II.
- [11] P. R. Spalart and S. R. Allmaras, "One-equation turbulence model for aerodynamic flows," *Rech. Aerosp.*, no. 1, pp. 5–21, 1994, doi: 10.2514/6.1992-439.