

# PREDIKSI KOMPONEN HAMBATAN TOTAL KAPAL FRIDISMA HULL MENGGUNAKAN METODE MORPHING MESH

Theonov S Nainggolan<sup>1\*</sup>, Samuel<sup>1</sup>, Deddy Chrismianto<sup>1</sup>, Andi Trimulyono<sup>1</sup>

Laboratorium Perencanaan dibantu Komputer

<sup>1</sup>Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

Email: [theonov.nainggolan@gmail.com](mailto:theonov.nainggolan@gmail.com), [samuel@ft.undip.ac.id](mailto:samuel@ft.undip.ac.id), [deddychrismianto@yahoo.co.id](mailto:deddychrismianto@yahoo.co.id),  
[andi.trimulyono@undip.ac.id](mailto:andi.trimulyono@undip.ac.id)

## Abstrak

CFD adalah salah satu pendekatan numerik yang dapat digunakan untuk memecahkan permasalahan fluida. Dalam menganalisis menggunakan metode CFD, hal pertama yang dilakukan adalah proses meshing. Meshing adalah proses di mana ruang geometri dari suatu objek dipecah menjadi ribuan atau lebih bentuk untuk menentukan bentuk fisik objek. Penelitian kali ini membahas teknik mesh pada Finite Volume Method (FVM) dengan persamaan RANS (Reynolds - Averaged Navier - Stokes). Model turbulen k- $\epsilon$  dan VOF (Volume of Fluid) digunakan untuk memodelkan fasa air dan udara. Penelitian kali ini menggunakan teknik morphing mesh untuk memperoleh nilai hambatan, trim, dan heave. Verifikasi hasil metode CFD akan dibandingkan dengan experiment pada kapal Fridsma hull form pada kondisi air tenang. Hasil hambatan dari simulasi CFD pada kondisi air tenang menunjukkan bahwa pada kecepatan rendah, transisi dan kecepatan tinggi menunjukkan prosentase sampai dengan 10%. Nilai trim pada kecepatan rendah, transisi maupun pada kecepatan tinggi menunjukkan hasil prosentase sampai dengan 14%. Nilai heave pada kecepatan rendah, transisi maupun pada kecepatan tinggi menunjukkan prosentase sampai dengan 19%.

**Kata Kunci:** *Planing hull*, Morphing mesh, CFD, RANS

## Abstract

CFD is a numerical approach that can be used to solve fluid problems in shipping. In analyzing using the CFD method, the first thing to do is the meshing process. Meshing is a process in which the geometric space of an object is broken down into thousands or more shapes to determine the physical shape of the object. This study discusses the mesh technique in the Finite Volume Method (FVM) with the RANS (Reynolds - Averaged Navier - Stokes) equation. Turbulent k- $\epsilon$  and VOF (Volume of Fluid) models are used to model the water and air phases. This study uses a morphing mesh technique to obtain the value of resistance, trim, and heave. Verification of the results of the CFD method will be compared with the experimental method on the Fridsma hull form ship in calm water conditions. The resistance results from the CFD simulation in calm water conditions show that at low speeds, transitions and high speeds the percentages are up to 10%. The trim value at low speed, transition and at high speed shows the percentage results up to 14%. The heave value at low speed, transition and at high speed shows the percentage up to 19%.

**Keywords:** *Planing hull*, Morphing mesh, CFD, RANS

## 1. PENDAHULUAN

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan bagian penting dalam merencanakan/mendesain sebuah produk engineering dengan menggunakan solusi matematika. Simulasi numerik pada kapal cepat dapat dilakukan dengan menggunakan CFD [1].

G.Fridsma melakukan penelitian eksperimen pada kapal dengan type planing dengan beberapa konfigurasi L/B, displacement, dead rise angle, LCG (Longitudinal Center of Gravity) dan lain sebagainya. Pengujian ini dilakukan dalam 2 kondisi yaitu, permukaan air bergelombang dan

tenang [2]. Penelitian eksperimen yang dilakukan G. Fridsma banyak digunakan sebagai acuan validasi hasil perhitungan numerik. Studi eksperimen G. Fridsma mudah dilakukan karena menggunakan bentuk geometri kapal yang sederhana, yaitu menggunakan persamaan matematika.

Secara tradisional mesh morphing dapat digunakan untuk memodelkan simulasi dengan cara merubah bentuk geometri, misalkan dalam bidang kelautan Kang et al. [3] dan Biancolini dan Viola [4]. Namun teknik ini tidak pernah digunakan dalam hidrodinamika kapal untuk simulasi hambatan kapal.

Mesh morphing dapat digunakan dengan mudah untuk simulasi gerakan kaku. Selama

proses morphing, simpul mesh didistribusikan kembali sebagai respons terhadap pergerakan satu set titik kontrol. Teknik simulasi menggunakan morphing mesh adalah dengan mengambil titik kontrol dan perpindahan serta menghasilkan bidang interpolasi. Bidang interpolasi kemudian digunakan untuk menggantikan simpul mesh berdasarkan metode *Radial Basis Functions (RBF)* (star ccm). Rincian lebih lanjut tentang metode RBF dan teknik morphing mesh pernah dilakukan oleh de Boer et al.[5] dan Biancolini [6] .

Simon manchini (2015) melakukan penelitian menggunakan kapal *Fridsma Hull* untuk mendapatkan akurasi yang baik. Penelitian ini melakukan simulasi numerik menggunakan morphing mesh, hasil penelitian ini menunjukkan memiliki waktu simulasi yang lebih cepat jika dibandingkan dengan overset mesh dan moving mesh [7].

Kapal cepat memiliki 2 karakteristik yaitu, heave dan trim yang dapat mempengaruhi performa hambatan, hal ini dibutuhkan 2 derajat kebebasan (2 DOF) pada simulasi numerik [8].

Pada penelitian ini bertujuan memprediksi hambatan total pada kapal *planing hull* menggunakan metode morphing mesh pada kondisi air tenang. Kajian ini akan memberikan informasi kekurangan dan kelebihan dari teknik mesh tersebut.

**2. METODE**

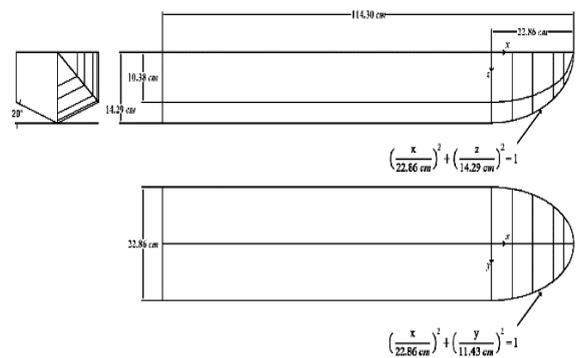
Pada penelitian ini akan menyelidiki total hambatan kapal *planing hull* dengan menggunakan analisa numerik. Simulasi numerik dalam kajian ini dilakukan pada kondisi air tenang. Perlakuan simulasi eksperimen yang dilakukan oleh Fridsma akan sama dengan perlakuan pada simulasi numerik, agar hasil yang dicapai akan mendekati simulasi eksperimen. Simulasi numerik dilakukan pada kondisi 2DOF (*Two Degree of Freedom*) untuk gerakan heave dan trim.

**2.1 Objek Penelitian**

Studi ini menggunakan data eksperimen dari Fridsma pada tahun 1969 sebagai *benchmark*. Data eksperimen yang digunakan yaitu lambung yang sangat sederhana menggunakan persamaan matematika, yang dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 1.

**Tabel 1.** Data Eksperimen Fridsma [2].

Parameter	Unit	Nilai
L/B	-	5
L	m	1.143
(B)	m	0.229
T <sub>AP</sub>	m	0.081
LCG dari AP	m	0.457
VCG dari keel	m	0.067
τ <sub>0</sub>	Derajat	1.569
β	Derajat	20
Δ	Kg	10.890
I <sub>yy</sub> = I <sub>zz</sub>	Kg.m <sup>2</sup>	0.235



**Gambar 1.** Lines plan dari kapal Fridsma hull [2].

**2.2 Metode Numerik**

Simulasi numerik adalah program untuk menyelesaikan persamaan diferensial dengan menggunakan pendekatan boundary dan initial conditions. Persamaan Reynolds-averaged Navier–Stokes (RANS) mempresentasikan hukum konservasi massa dan momentum. Setiap cell diasumsikan sebagai volum fraksi yang memiliki nilai 1 dan 0.

$$\frac{\delta F}{\delta t} + \frac{\delta uF}{\delta x} + \frac{\delta vF}{\delta y} + \frac{\delta wF}{\delta z} = 0 \quad (1)$$

Persamaan RANS dikembangkan berdasarkan konsep bahwa kecepatan dan panjang kapal cukup untuk menggambarkan efek turbulensi di sekitar lambung. Dalam perhitungan, model turbulensi k-ε yang berfungsi sebagai dinding yang digunakan untuk menggambarkan efek turbulensi pada aliran [9].

Wall function (y+) yaitu dinding pemisah antara dinding (wall) dengan aliran fluida. Berfungsi untuk menangkap boundary layer yang berperan penting dalam perhitungan hambatan (drag). Nilai y+ berperan penting untuk mengurangi ketidakuratan perhitungan. Ahmet Gultekin pada penelitiannya menggunakan nilai y+ antara 45 – 60 untuk mendapatkan hasil yang akurat [10]. Lotfi melakukan penelitian untuk mendapatkan hasil yang akurat menggunakan nilai y+ antara 50 – 150 [11]. Perhitungan nilai y+ menurut ITTC [8] , yaitu:

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

Untuk menentukan time-step pada penelitian ini tergantung angka Courant-Friedrichs-Lewy (CFL). Angka CFL menunjukkan jumlah titik yang ditempuh oleh partikel fluida dalam interval waktu. Semakin cepat kapal maka semakin kecil time-step yang akan digunakan. Berdasarkan perhitungan yang direkomendasikan oleh ITTC. ITTC adalah asosiasi independen dari organisasi di seluruh dunia yang bertanggung jawab untuk prediksi kinerja hidrodinamika kapal dengan pemodelan fisik maupun numerik.

Pada penelitian ini digunakan towing tank dengan ukuran dan domain (boundari condation) mengikuti rekomendasi ITTC, seperti pada tabel 2 dan gambar 2.

**Tabel 2.** Dimensi Towing Tank

Parameter	Towing tank
Panjang (m)	1L dari FP 2.5L dari AP
Tinggi (m)	1L dari deck 2L dari keel
Lebar (m)	1.5L dari symmetry

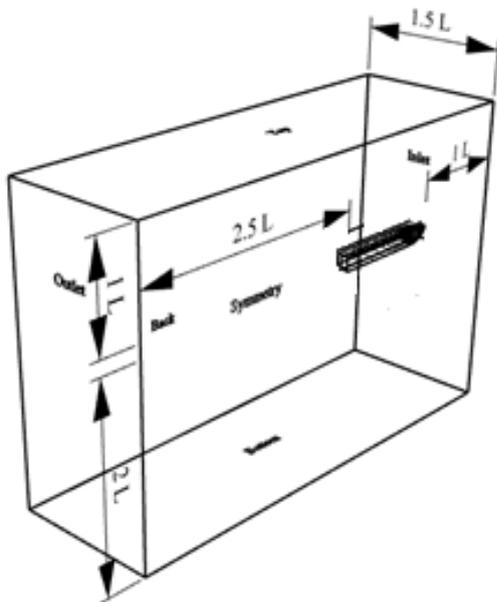
Dynamic meshing dapat digabungkan dengan menggunakan metode morphing mesh, dimana sel-sel bergerak dengan batas deformasi sementara jumlah sel dan konektifitasnya tetap tidak berubah. Dapat di lihat pada tabel 3 merupakan konfigurasi morphing mesh.

**Tabel 3.** Konfigurasi pada metode morphing mesh

Node	Properti	Setup
Region, substract, physic values	Motion specification	DFBI morphing

Kerapatan mesh dipusatkan pada badan kapal dan permukaan air agar hasil tetap akurat dalam waktu komputasi yang relatif lebih cepat. Selain itu dibutuhkan refinement pada daerah bottom untuk hasil yang lebih akurat. Mesh secara lokal tersebut dilakukan dengan menggunakan metode anisotropic mesh untuk memfokuskan pada kordinat x, y, atau z. Pada simulasi kali ini kerapatan mesh dibagi menjadi beberapa bagian seperti pada Tabel 4. Pada gambar 3 dapat dilihat visualisasi dari kerapatan metode morphing mesh. Hasil simulasi pada metode ini menunjukkan deformasi pada masing masing mesh.

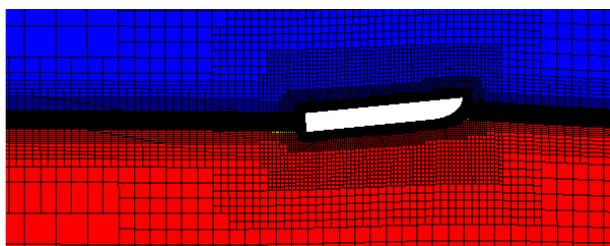
$$\Delta t_{ITTC} = 0.005 \sim 0.01L/U \quad (3)$$



Gambar 2. Visualisasi dimensi dan surface domain yang digunakan

Tabel 4. Kerapatan mesh pada background

Bagian	Tipe Refinement	Ukuran
Tank	Surface	0,7874 L
Water Surface Fine	Volume	0,0062 L
Water Surface Medium	Volume	0,0123 L
Water Surface Coarse	Volume	0,0246 L
Hull Box 1	Volume	0,0984 L
Hull Box 2	Volume	0,0492 L
Hull Box 3	Volume	0,0246 L
Hull Box 4	Volume	0,0123 L
Wake Fine	Volume	0,0492 L
Wake Medium	Volume	0,0984 L
Wake Coarse	Volume	0,1969 L
Hull	Surface	0,0030 L

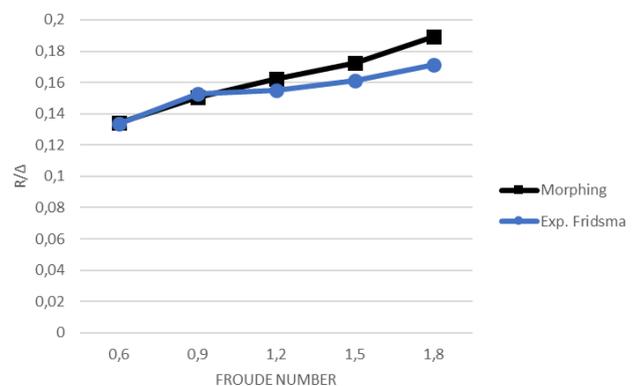


Gambar 3. kerapatan pada metode morphing mesh

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk dapat membandingkan hasil penelitian ini dengan ukuran kapal yang berbeda maka peneliti mengubah satuan kapal

ke bentuk non-dimensional yang bertujuan untuk mempermudah perhitungan. Hambatan digambarkan dengan non-dimensional unit  $R/\Delta$ , dengan  $R$  sebagai hambatan dalam satuan newton dan  $\Delta$  dalam satuan newton sebagai displacement/berat kapal. Kecepatan kapal ditunjukkan dalam bentuk *Froude number*. *Froude number* adalah fungsi dari kecepatan dan gravitasi serta panjang kapal. Pada gambar 4 dapat dilihat perbandingan nilai hambatan dengan analisa numerik menggunakan metode morphing dan eksperimen. Semakin tinggi *Froude number* maka akan semakin besar gaya drag kapal.



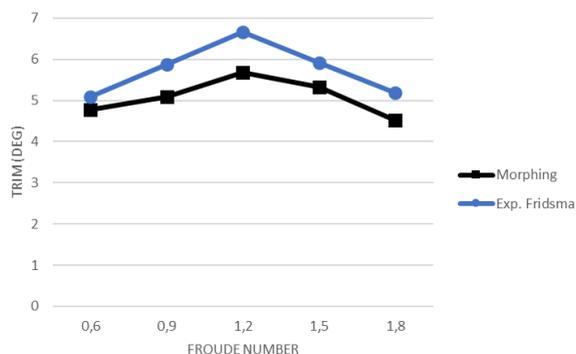
Gambar 4. Perbandingan nilai hambatan CFD dengan eksperimen Fridsma

Secara umum, kapal cepat dibagi menjadi tiga region. Region dengan kecepatan rendah berada pada *Froude number* 0-0,6 dan pada kecepatan transisi berada pada *Froude number* 0,6 sampai 1,0 serta pada kecepatan tinggi pada *Froude number* lebih dari 1,0.

Pada kecepatan rendah metode morphing mesh memperoleh perbedaan 0,5% dibandingkan dengan hasil eksperimen Fridsma. Pada region transisi menunjukkan hasil simulasi sebesar 4,5%. Sedangkan pada kecepatan tinggi metode morphing mesh menunjukkan perbedaan sebesar 10%. Hasil simulasi menunjukkan perbedaan yang cukup akurat.

Pada gambar 5 menunjukkan perbandingan hasil simulasi trim yang diperoleh. Grafik trim digambarkan dalam unit derajat berbanding dengan *Froude number*. Hasil simulasi

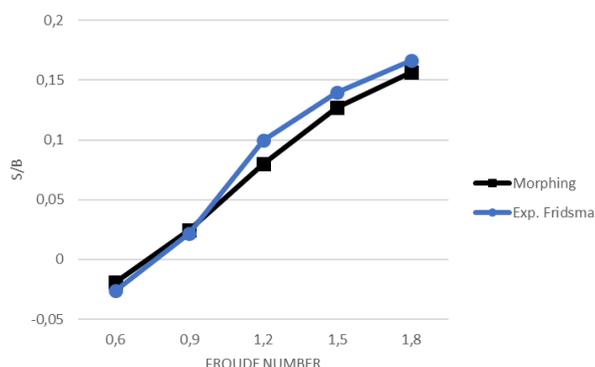
perhitungan numerik menggambarkan bentuk yang cenderung mirip. Perbedaan yang timbul pada masing masing simulasi terjadi karena banyak asumsi yang tidak bisa di simulasikan pada perhitungan numerik.



Gambar 5. Perbandingan nilai trim CFD dengan eksperimen Fridsma

Penelitian ini mendapatkan selisih antara hasil CFD dengan eksperimen Fridsma. Pada kecepatan rendah metode morphing mesh memperoleh hasil eksperimen Fridsma, dengan error 6 %. Pada keadaan transisi metode morphing mesh memperoleh hasil eksperimen, dengan eror 14,6 %. Sedangkan pada kecepatan tinggi metode morphing mesh memperoleh hasil eksperimen, dengan eror 12,8 %.

Pada gambar 6 dapat dilihat perbandingan hasil heave yang di peroleh peneliti dengan hasil trim eskperimen. Grafik heave dengan satuan non-dimensional s/B, dengan s sebagai displacement antara titik awal dan akhir pada sumbu z kapal dan B sebagai lebar kapal.



Gambar 6. Perbandingan nilai heave CFD dengan eksperimen Fridsma

Hasil *heave* yang di peroleh pada penelitian ini mendapatkan selisih antara hasil CFD dengan eksperimen Fridsma. Pada kecepatan rendah metode morphing mesh memperoleh hasil eksperimen Fridsma, dengan error 26,5 %. Pada keadaan transisi metode morphing mesh memperoleh hasil eksperimen, dengan error 19,7 %. Sedangkan pada kecepatan tinggi metode morphing mesh memperoleh hasil eksperimen, dengan eror 5,8%.

Pada penelitian ini memberikan informasi karakteristik metode morphing mesh seperti yang dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Karakter Morphing mesh pada saat menganalisis hambatan, heave, trim

	Morphing mesh
Kecepatan rendah	Cenderung baik
Pada saat transisi	Cenderung buruk
Kecepatan tinggi	Cenderung buruk
Waktu yang digunakan	Lebih cepat
Jumlah memori yang dibutuhkan	Tidak pasti
Daya CPU yang dibutuhkan	Tidak pasti

#### 4. KESIMPULAN

Hasil simulasi yang telah dilakukan pada penelitian ini menunjukkan bahwa nilai hambatan, trim, dan heave pada penelitian ini menunjukkan perbedaan antara hasil CFD dengan eksperimen Fridsma. Hasil simulasi menunjukkan nilai hambatan total sampai dengan 10%. Begitu pula, nilai trim menunjukkan hasil sampai dengan maximal 14,6%. Penelitian ini menunjukkan hasil simulasi CFD bisa digunakan untuk memprediksi hambatan kapal berkaitan dengan gerakan trim dan heave.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan Terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Samuel, S. Jokosisworo, M. Iqbal, P. Manik, and G. Rindo, "Verifikasi Deep-V Planing Hull Menggunakan Finite Volume Method Pada Kondisi Air Tenang," *Teknik*, vol. 41, no. 2, pp. 126–133, 2020, doi: 10.14710/teknik.v0i0.29391.
- [2] G. Fridsma, "A Systematic Study of The Rough-water Performance of Planning Boat," New Jersey, 1969.
- [3] J. Y. Kang and B. S. Lee, "Mesh-based morphing method for rapid hull form generation," *CAD Comput. Aided Des.*, vol. 42, no. 11, pp. 970–976, 2010, doi: 10.1016/j.cad.2009.07.001.
- [4] M. E. Biancolini, I. M. Viola, and M. Riotte, "Sails trim optimisation using CFD and RBF mesh morphing," *Comput. Fluids*, vol. 93, pp. 46–60, 2014, doi: 10.1016/j.compfluid.2014.01.007.
- [5] M. W. De Boer, "Invited review: Systematic review of diagnostic tests for reproductive-tract infection and inflammation in dairy cows1," *J. Dairy Sci.*, vol. 97, no. 7, pp. 3983–3999, 2014, doi: 10.3168/jds.2013-7450.
- [6] M. E. Biancolini, "Mesh morphing and smoothing by means of radial basis functions (RBF): A practical example using fluent and RBF morph," *Handb. Res. Comput. Sci. Eng. Theory Pract.*, pp. 347–380, 2011, doi: 10.4018/978-1-61350-116-0.ch015.
- [7] S. Mancini, "The problem of verification and validation processes of CFD simulations of planing hulls," 2015, [Online]. Available: <https://core.ac.uk/reader/78395650>.
- [8] Samuel, A. Trimulyono, and A. W. B. Santosa, "Simulasi CFD pada Kapal Planing Hull," *Kapal*, vol. 16, no. 3, p. 123, 2019, doi: 10.14710/kapal.v16i3.26397.
- [9] B. E. Launder and D. B. Spalding, "The numerical computation of turbulent flows," *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 269–289, 1974, doi: 10.1016/0045-7825(74)90029-2.
- [10] A. G. Avci and B. Barlas, "An experimental and numerical study of a high speed planing craft with full-scale validation," *J. Mar. Sci. Technol.*, vol. 26, no. 5, pp. 617–628, 2018, doi: 10.6119/JMST.201810\_26(5).0001.
- [11] P. Lotfi, M. Ashrafizaadeh, and R. K. Esfahan, "Numerical investigation of a stepped planing hull in calm water," *Ocean Eng.*, vol. 94, pp. 103–110, 2015, doi: 10.1016/j.oceaneng.2014.11.022.