

Prediksi Hambatan Kapal dengan Menggunakan Metode *Overset Mesh* pada Kapal *Planing Hull*

Abubakar Fathuddiin¹, Samuel¹, Kiryanto¹, Aulia Widyandari²

¹Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

²Departemen Teknik Perkapalan, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

Email: abubakar.fathuddiin@gmail.com

Received 20 April 2020 | Revised 27 Mei 2020 | Accepted 29 Mei 2020

ABSTRAK

Prediksi hambatan kapal tipe planing lebih rumit dibanding dengan tipe displacement, hal ini disebabkan oleh gaya hidrodinamis yang lebih dominan pada bagian bawah kapal. Karakteristik hambatan kapal tipe planing sangat dipengaruhi oleh gerakan trim dan heave. Selain itu, bentuk hullform juga mempengaruhi hambatan kapal; seperti sudut dead-rise, chine, strip, stephull, dan lain-lain. Solusi untuk memprediksi hambatan kapal dengan menggunakan Finite Volume Method (FVM). Persamaan RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes) dengan model turbulensi $k-\epsilon$ untuk memprediksi aliran turbulen dan Volume of Fluid (VOF) untuk mempresentasikan aliran 2 fasa. Pada penelitian ini digunakan metode overset mesh untuk memprediksi hambatan kapal agar mendapatkan akurasi yang baik. Hasil simulasi hambatan menunjukkan trend yang baik. Pada kecepatan tinggi, prediksi hambatan tidak memiliki hasil yang baik. Solusi yang ditawarkan pada Numerical ventilation problem (NVP) adalah dengan menggunakan metode phase replacement.

Kata kunci: CFD, planing hull, RANS, overset mesh, NVP

ABSTRACT

The prediction of planing hull resistance is more complicated than the displacement hull. It is caused by the more dominant hydrodynamic force at the bottom of the ship. The planing hull resistance characteristics are strongly influenced by trim and heave movements. In addition, the shape of the hullform also affects the ship's resistance, such as dead-rise angle, chine, strip, stephull, and others. The solution to predict ship resistance is by using the Finite Volume Method (FVM). RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes) equation $k-\epsilon$ turbulence model was used to predict turbulent flow and Volume of Fluid (VOF) to present 2 phase flow. In this study, the overset mesh method was used to predict ship resistance in order to get good accuracy. Resistance simulation results showed a good trend. At high speeds, the prediction of resistance did not have good results. The solution offered in the Numerical ventilation problem (NVP) was to use the phase replacement method.

Keywords: CFD, planing hull, RANS, overset mesh, NVP

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komputasi memudahkan proses analisa suatu objek. Pada simulasi eksperimen akan membutuhkan banyak model untuk mendapatkan hasil yang diinginkan, sehingga menghabiskan waktu dan biaya dalam setiap pemodelan. Namun sekarang dipermudah dengan adanya *software* yang dapat menghemat waktu dan biaya. Selain itu dapat menganalisa bentuk yang lebih rumit yang tidak dapat diselesaikan dengan rumus pendekatan.

Gerald Fridsma pada tahun 1969 melakukan eksperimen mengenai kapal cepat atau kapal tipe *planing hull*. Pada penelitian yang dilakukannya, beberapa variabel panjang *hull* (lambung), *displacement*, LCG (*Longitudinal Center of Gravity*), sudut *dead-rise*, dan kecepatan pada dua kondisi, kondisi tenang (*smooth-water*) dan kondisi dengan gelombang (*rough-water*). Hasil yang didapat berupa hambatan, *trim* (rotasi terhadap sumbu y), *heave* (kenaikan terhadap sumbu z) hingga respon terhadap gelombang [1]. Sehingga hasil eksperimen beliau banyak digunakan oleh peneliti sebagai objek validasi dalam penelitian dengan berbagai metode yang digunakan. Mulai dengan metode pendekatan empiris hingga komputasi numerik.

Kapal dikatakan *planing hull* apabila tekanan hidrostatik lebih kecil dibanding tekanan hidrodinamik [2] atau berada pada *Froude Number* ($Fr \geq 1 - 1.2$) [3]. Sehingga kapal tipe *planing hull* lebih rumit dibandingkan dengan *displacement hull*, karena membutuhkan interaksi antara air dan udara (komputasi multifasa). Karakteristik *planing hull* memiliki *trim* dan *heave* yang akan terintegrasi bentuk *hull*, *chine*, *strakes*, *dead-rise angle* dan Fr tinggi. Beberapa penelitian sebelumnya mengenai komputasi numerik kapal tipe *planing* dengan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) [2, 4, 5, 6], komputasi numerik Fridsma *hullform* dengan menggunakan metode *moving grid* [7, 8] dan komputasi numerik dengan metode *overset mesh* [9, 10]. Pada penelitian tersebut menggunakan *Finite Volume Method* (FVM), *Reynolds-Averaged Navier-Stokes* (RANS), dan *Volume of Fluid* (VOF) dalam memprediksi karakteristik kapal dengan tipe *planing*. Metode FVM dapat memprediksi hambatan, *trim* dan *heave* secara akurat.

Overset mesh merupakan metode *mesh* yang sering digunakan untuk simulasi benda-benda yang dapat bergerak bebas pada suatu fluida. Contohnya seperti benda jatuh, *propeller* dan lain sebagainya. Sehingga baik digunakan dalam memprediksi karakteristik kapal bertipe *planing*. Beberapa contoh peneliti sebelumnya yang menerapkan metode *overset mesh* yaitu Wheeler dan Sukas [9, 10].

Software CFD masih memiliki kekurangan, yaitu ketidakmampuan memprediksi hambatan pada Fr tinggi. Sering terjadi ventilasi atau tercampurnya fasa air dan udara, sehingga mengakibatkan kecilnya nilai hambatan. Masalah ini sering dikenal dengan *Numerical Ventilation Problem* (NVP). Pada penelitian Ahmet Gultekin Avcı dan Baris Barlas menyimpulkan metode untuk mengatasi *Numerical Ventilation Problem* (NVP) dengan mengalikan hasil dengan 1.15 dan dengan mengganti fasa (*phase replacement*) [4].

Manfaat dari penelitian ini yaitu memberikan informasi mengenai metode *overset mesh* dan metode *phase replacement* untuk mendapatkan prediksi yang akurat dalam simulasi kapal bertipe *planing hull*.

2. METODOLOGI

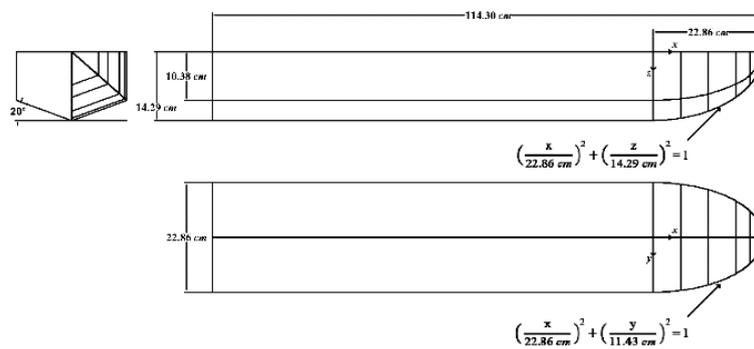
2.1 Objek Penelitian

Pada penelitian ini akan dipakai data dari Fridsma *hullform* dalam ekperimennya pada tahun 1969. Khususnya hasil dari pengujian pada kondisi air tenang (*calm water*). Dan konfigurasi yang akan divalidasi yaitu model F dan G. Data eksperimen untuk model F dan G pada Tabel 1.

Tabel 1. Data fridsma F dan G [1]

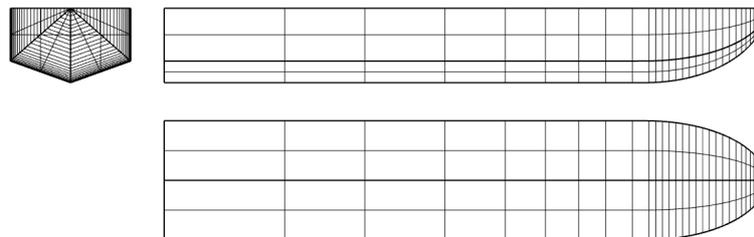
Parameter	Fridsma - F	Fridsma - G
L (m)	1.143	1.143
B (m)	0.229	0.229
L/B	5	5
T _{AP} (m)	0.075	0.075
β (deg)	20	20
LCG dari AP (m)	0.480	0.480
VCG dari lunas (m)	0.067	0.067
Δ (Kg)	10.890	10.890
I _{yy} = I _{zz} (Kg.m ²)	0.233	0.233
τ _o (deg)	1	1
Fr	1.2	1.8
Kecepatan (m/s)	3.985	5.977

Data yang diberikan Gerald Fridsma berupa *hullform* dengan persamaan matematika berupa elips untuk bentuk haluannya seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Fridsma hullform [1]

Fridsma *hullform* dimodelkan dengan metode NURBS (*Non-Uniform, Rational B-spline Surface*). Yaitu permodelan *3D surface* dengan metode komputasi untuk mempresentasikan garis dan *surface* yang sebelumnya dalam bentuk persamaan matematika. Pemodelan Fridsma *hullform* menggunakan *surface* tertutup (*solid*) seperti Gambar 2, agar tidak terjadi *error* pembacaan dalam *software* simulasi.



Gambar 2. Pemodelan 3D fridsma hullform

2.2 Tinjauan Teoritis

Tujuan penting dari setiap program CFD adalah untuk menyelesaikan persamaan 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. Fungsi fluida air dan udara tergantung dari properti volume fraksi. Permukaan air laut diasumsikan F, sebagai hukum konservasi:

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

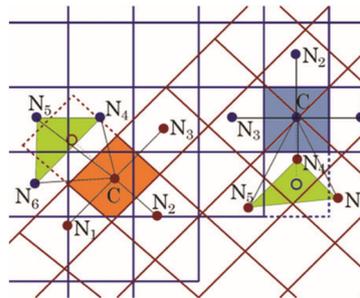
Persamaan RANS dikembangkan berdasarkan konsep bahwa kecepatan dan panjang kapal cukup untuk menggambarkan efek turbulensi di sekitar lambung. Dalam perhitungan, model turbulensi $k-\varepsilon$ yang berfungsi sebagai dinding yang digunakan untuk menggambarkan efek turbulensi pada aliran [11].

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 [4]. Perhitungan nilai y^+ menurut ITTC [12], yaitu:

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

Dimana y adalah tebal layer pertama, L adalah panjang objek, Re adalah *reynold number* dan C_f adalah estimasi dari koefisien gesek permukaan objek.

Overset mesh merupakan metode mesh dengan cara *donor – acceptor cells*. Sehingga ada lebih dari satu geometri, *background* sebagai pendonor, dan *overset* sebagai penerima donor. Sel aktif terdapat di setiap ujung geometri *overset* yang berperan sebagai perantara *donor – acceptor cells*. Sedangkan sel pasif terdapat pada *background* yang digantikan oleh sel-sel *overset* [13].



Gambar 3. Transfer data antara *overset mesh* (merah) dengan *background mesh* (biru), dimana *acceptor cell* (jingga) menerima data dari *donor cell* (hijau) [13]

Time-step digunakan dalam perhitungan aliran *unsteady*. Time step merupakan interval periode untuk setiap perhitungan iterasi. Semakin kecil nilai membuat hasil semakin akurat, dan sebaliknya. Untuk menentukan *time-step* pada perhitungan CFD tergantung pada kecepatan kapal. Semakin cepat kapal maka semakin kecil *time-step* yang digunakan. Berdasarkan perhitungan yang direkomendasikan oleh ITTC [12] pada Persamaan 3. Dengan L sebagai panjang kapal dan U sebagai kecepatan kapal.

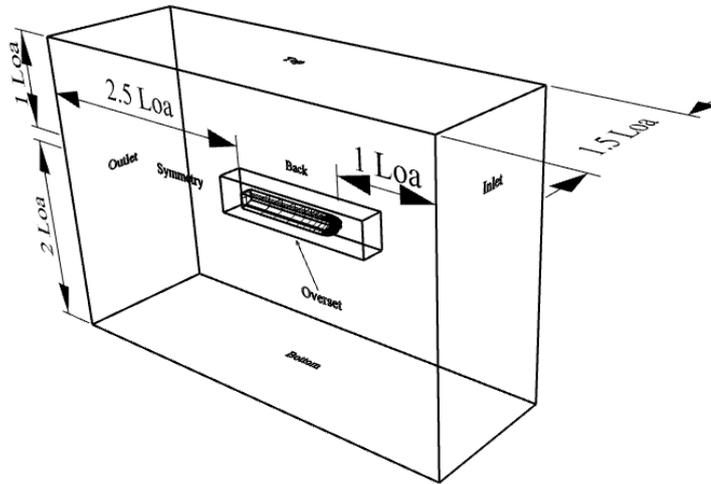
$$\Delta t_{ITTC} = 0.005 \sim 0.01 \frac{L}{U} \quad (3)$$

2.3 Metode Penelitian

Berdasarkan metode *overset mesh*, pembuatan *virtual towing tank* dibagi menjadi dua geometri yaitu *background* sebagai donor dan *overset* sebagai *acceptor*. Dimensi yang digunakan dalam penelitian ini seperti tertera pada Tabel 2 dan Gambar 4 sebagai visualisasinya. Dengan L adalah panjang kapal, H adalah tinggi kapal, dan B adalah lebar kapal.

Tabel 2. Dimensi *virtual towing tank*

Parameter	<i>Background</i>	<i>Overset</i>
Panjang (m)	1L dari FP	0.25L dari FP
	2.5L dari AP	0.25L dari AP
Tinggi (m)	1L dari <i>Deck</i>	0.75H dari <i>Deck</i>
	2L dari <i>Keel</i>	0.75H dari <i>Keel</i>
Lebar (m)	1.5L dari <i>Symmetry</i>	0.5B dari <i>Symmetry</i>



Gambar 4. Ukuran dan *surfaces domain*

Dengan domain pada geometri ditunjukkan pada Tabel 3.

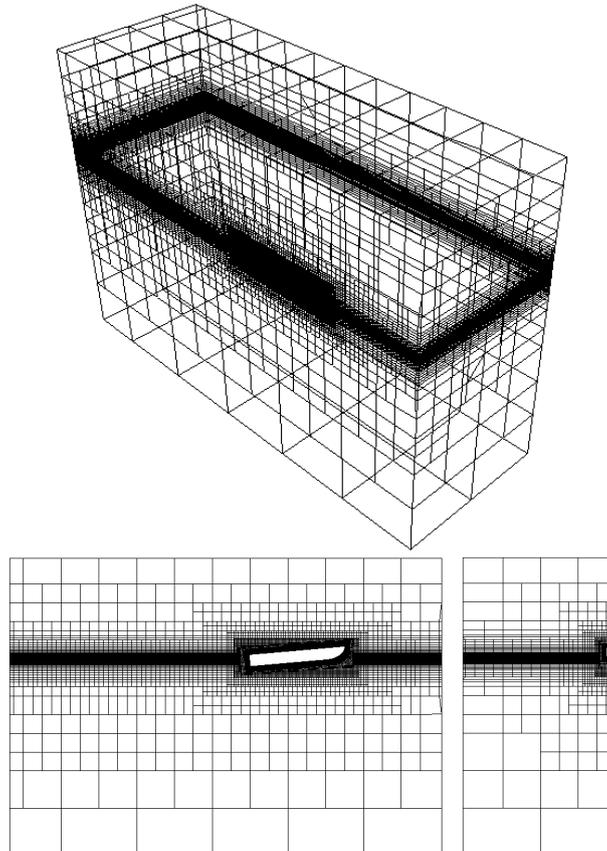
Tabel 3. Domain pada *virtual towing tank*

<i>Part surfaces</i>	<i>Background</i>	<i>Overset</i>
<i>Top</i>	<i>Velocity Inlet</i>	<i>Overset Mesh</i>
<i>Bottom</i>	<i>Velocity Inlet</i>	<i>Overset Mesh</i>
<i>Inlet</i>	<i>Velocity Inlet</i>	<i>Overset Mesh</i>
<i>Outlet</i>	<i>Pressure Outlet</i>	<i>Overset Mesh</i>
<i>Back</i>	<i>Velocity Inlet</i>	<i>Overset Mesh</i>
<i>Symmetry</i>	<i>Symmetry Plane</i>	<i>Symmetry Plane</i>
<i>Half Model</i>	-	<i>No-Slip Wall</i>

Kerapatan *mesh* difokuskan pada objek dan permukaan air agar hasil tetap akurat dalam waktu komputasi yang relatif lebih cepat. Sehingga dibutuhkan beberapa objek sebagai *refinement* atau merapatkan *mesh* secara lokal. Dilakukan dengan menggunakan metode *anisotropic mesh* untuk memfokuskan pada ordinat x, y, atau z. Perlu diperhatikan bahwa dalam metode *overset mesh*, kerapatan *mesh donor* dengan *acceptor* harus pada dimensi yang sama atau tidak signifikan perbedaannya. Perbedaan yang signifikan dapat mengakibatkan *error data transfer*, sehingga simulasi tidak dapat dilanjutkan. Pada simulasi ini kerapatan *mesh* dibagi menjadi beberapa bagian seperti pada Tabel 4 dan Gambar 5.

Tabel 4. Kerapatan Mesh

Nama Bagian	Dimensi Mesh
<i>Far Field</i>	0.7874 L
<i>Block 1</i>	0.0492 L
<i>Overlap</i>	0.0246 L
<i>Overset</i>	0.0246 L
<i>Hull</i>	0.0062 L
<i>Free Surface</i>	0.0062 L



Gambar 5. Ilustrasi kerapatan mesh

Pengaturan *meshing* dan *solver* dibedakan berdasarkan kecepatan, *wall function* (y^+), dan Δt seperti tertera pada Tabel 5.

Tabel 5. Setup ditiap hullform

Parameter	Fridsma F	Fridsma G
<i>Number of Prism Layers</i>	6	6
<i>Prism Layer Stretching</i>	1.2	1.2
<i>Prism Layer Thickness (m)</i>	0.0054	0.0038
<i>Current (m/s)</i>	3.98	5.98
<i>Wind (m/s)</i>	3.98	5.98
<i>Implicit Unsteady (s)</i>	0.005	0.005
<i>Maximum Inner Iterations</i>	5	5
<i>Maximum Physical Time (s)</i>	7	7

Pada simulasi CFD gerak kapal dibatasi dengan membebaskan gerak rotasi sumbu y (*trim*) dan gerak translasi searah sumbu z (*heave*). Sementara gerakan kapal yang lain tidak digunakan untuk menyesuaikan tujuan penelitian ini.

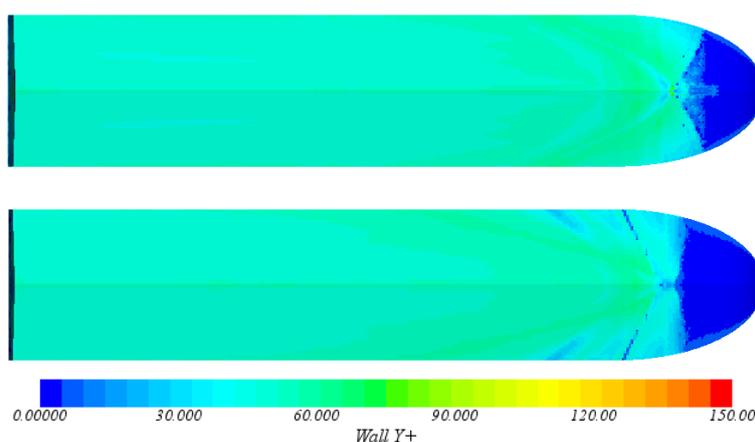
Metode penyelesaian *Numerical Ventilation Problem* (NVP) menurut Ahmet Gultekin terbagi menjadi 2 cara. Pertama, persentase konsentrasi udara yang akan diganti sebesar 15% (sesuai keadaan *volume fraction*), sehingga hasil hambatan total dikali 1.15. Cara kedua dengan *phase replacement*, yaitu mengganti fasa udara menjadi air dengan langkah – langkah sebagai berikut [4] :

1. Sebelum simulasi dimulai, aktifkan terlebih dahulu “*Multiphase Interaction*” pada menu *Physic – Model*.
2. Stop simulasi setelah konvergen.
3. Visualisasikan “*Volume Fraction of Water*”.
4. Pada menu “*Multiphase Interaction*”, buat baru *phase interaction*.
5. Pilih “*VOF-VOF Phase Interaction Model*” dan “*VOF Phase Replacement Model*”.
6. Gunakan “*Field Function*” pada menu *Tools* untuk mengganti fasa.
7. Buat rumus “*scalar*” baru pada menu *Field Function* dan definisikan sebagai berikut “ $\{VolumeFractionAir\} < 0.50$ ” (0.5 yaitu mengganti fase udara sebesar 50% dari konsentrasi fase udara dan air yang berbaur).
8. Kembali ke menu “*Multiphase Interaction*”, kemudian pilih “*Air*” untuk “*Primary case*” dan “*Water*” untuk “*Secondary case*”. Ini yang dimaksud dengan mengganti fase udara menjadi fase air.
9. Lanjutkan simulasi sebanyak 1x *time-step*.
10. Visualisasikan kembali “*Volume Fraction of Water*”.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

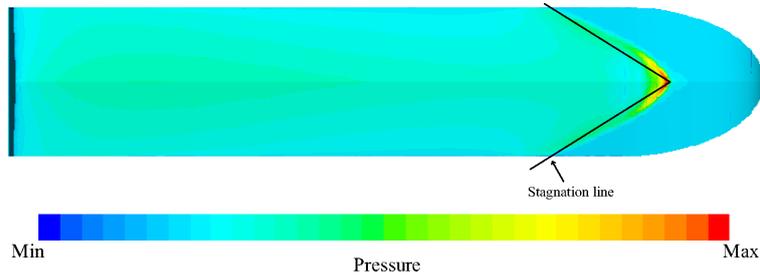
Dalam melakukan simulasi perlu memperhatikan nilai y^+ (*wall function*) untuk hasil yang akurat. Nilai y^+ diusahakan berada di rentang 45-60 dengan cara mengubah tebal *prism layer* pada setiap kecepatan. Nilai tebal layer pertama dapat dicari dengan Persamaan 2. Kemudian dengan deret matematika didapatkan nilai untuk tebal *prism layer* yang dapat dilihat pada Tabel 5. Hasil visualisasi nilai y^+ dapat dilihat pada Gambar 6.

Time-step merupakan bagian yang perlu diperhatikan nilainya. Berdasarkan rumus ITTC mengenai *time-step* pada Persamaan 3, diambil nilai 0.005s untuk mempercepat waktu simulasi. Selain itu, fungsi dari *time-step* untuk mempercepat konvergen suatu simulasi. Simulasi dapat diakhiri apabila grafik telah konvergen atau memiliki perbedaan nilai yang relatif kecil (stagnan). Dan nilai yang diambil berdasarkan rata-rata hasil yang telah konvergen.



Gambar 6. Perbandingan nilai y^+ , atas (Fr 1.2), bawah (Fr 1.8)

Pada *planing hull* terdapat garis stagnasi (*stagnation line*) yang berbeda disetiap nilai *Froude number* (*Fr*). Garis stagnasi yaitu garis batas *hull* yang tercelup, sehingga dibelakang garis stagnasi disebut *pressure area* dan didepan disebut *spray area* [14]. Garis stagnasi hasil simulasi dapat divisualisasikan melalui nilai tekanan pada Gambar 7, dan nilai tekanan terbesar merupakan posisi garis stagnasi. Sedangkan *spray area* dapat dilihat pada Gambar 8.

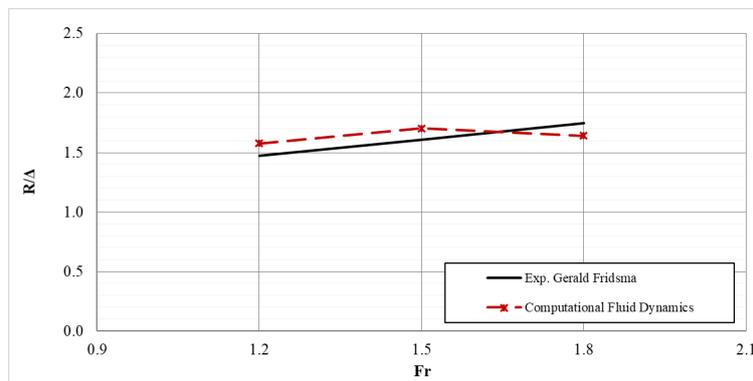


Gambar 7. Visualisasi tekanan pada *Fr* 1.2

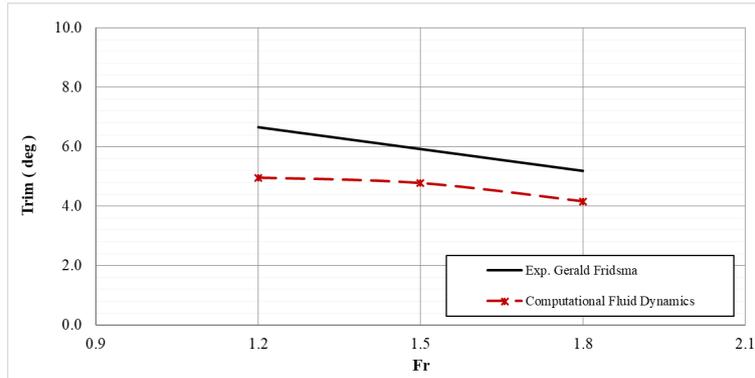


Gambar 8. Visualisasi *Wetted Surface Area* (WSA)

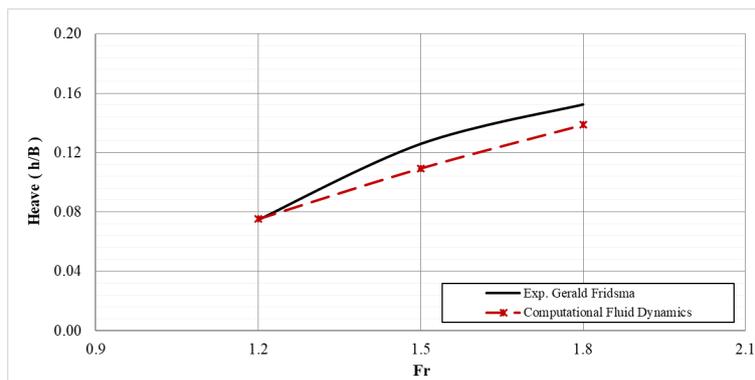
Karakteristik Fridsma F dan Fridsma G hampir sama, kecuali kecepatannya seperti yang tertera di Tabel 1. Sehingga hanya *Froude number* yang membedakan. Hal ini memudahkan penyampaian data yaitu sumbu *x* yang mewakili *Fr*. Untuk hambatan, sumbu *y* merupakan *non-dimensional unit* dari nilai *drag per displacement*. Untuk nilai *trim* dalam satuan derajat ($^{\circ}$). Dan untuk *heave*, sumbu *y* merupakan *non-dimensional unit* dari nilai *heave* (dalam meter) per lebar kapal.



Gambar 9. Perbandingan nilai hambatan CFD dan eksperimen G.Fridsma



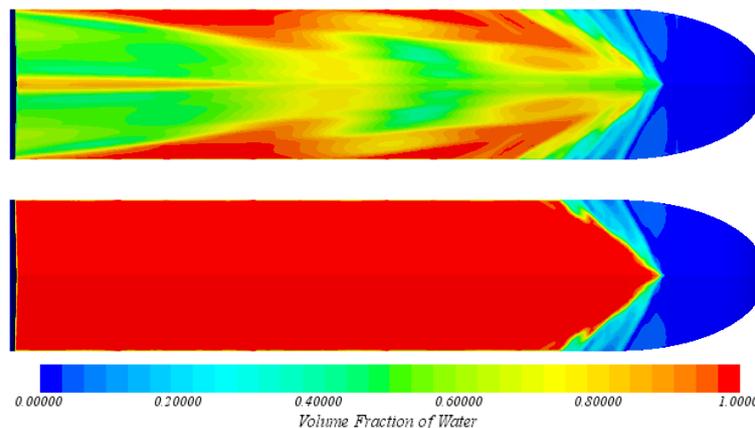
Gambar 10. Perbandingan nilai *trim* CFD dan eksperimen G.Fridsma



Gambar 11. Perbandingan nilai *heave* CFD dan eksperimen G.Fridsma

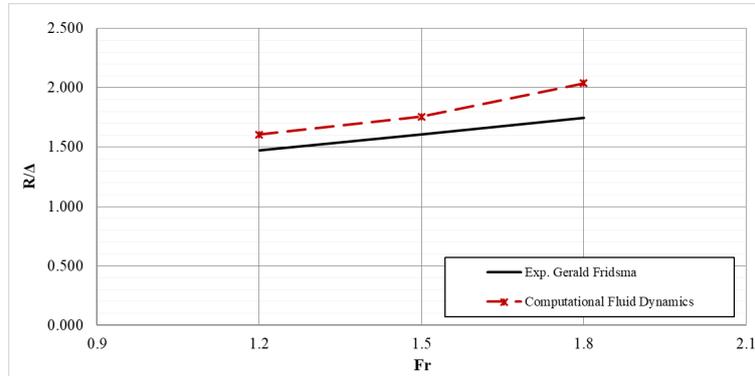
Hasil hambatan menunjukkan terjadinya penurunan tren pada simulasi CFD di Fr 1.8, dapat dilihat pada Gambar 9. Hal tersebut disebabkan karena adanya aliran udara / *Numerical Ventilation Problem* (NVP) pada simulasi di Fr 1.8, dapat dilihat pada Gambar 11.

Hasil *trim* tidak terlalu memiliki tren yang menyimpang seperti pada Gambar 10 dan Gambar 11. Sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil simulasi cukup baik dalam memprediksi nilai dari *trim*. Begitu juga dengan *heave* yang dibandingkan dengan eksperimen sejenis (tidak terdapat data *heave* untuk Fridsma F dan G).



Gambar 12. Visualisasi *Wetted Surface Area* (WSA), terdapat aliran udara (atas) dan setelah *phase replacement* (bawah)

Dengan metode *phase replacement* seperti yang dilakukan oleh Ahmet Gultekin. Didapatkan hasil yang lebih baik dilihat dari tren grafik hambatan yang dapat dilihat pada Gambar 12. Begitu juga dengan visualisasi *Wetted Surface Area (WSA)* yang tertera pada Gambar 11, menunjukkan kesesuaian dengan keadaan sebenarnya. Namun untuk nilai *trim* dan *heave* tidak memiliki perubahan yang berarti, sehingga dapat dikatakan sama dengan keadaan sebelum adanya *phase replacement* seperti terlihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 13. Perbandingan nilai hambatan CFD dan eksperimen G.Fridsma setelah *phase replacement*

4. KESIMPULAN

Hasil simulasi CFD pada Fr 1.2 hasil cukup baik, namun pada Fr 1.8 terjadi NVP yang mempengaruhi hasil simulasi, sehingga menimbulkan ketidakakuratan terlihat dari trend grafik yang menurun. Setelah dilakukan solusi dengan menggunakan *phase replacement*, hasil prediksi hambatan menjadi lebih baik. Sementara untuk prediksi *trim* dan *heave*, dapat disimulasikan dengan cukup baik. Dapat disimpulkan bahwa metode *overset mesh* memiliki keakuratan yang baik dalam memprediksi hambatan, *trim* dan *heave* kapal bertipe *planing*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboraturium Komputer & Desain Kapal Universitas Diponegoro atas dukungan dalam melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fridsma, G. (1969). "A Systematic Study of The Rough-water Performance of Planning Boat," Hoboken, New Jersey,
- [2] Iacono, M. (2015). "Hydrodynamics of Planing Hull By CFD," 8, pp. 202.
- [3] Faltinsen, O. M. (2005). *Hydrodynamics of High-Speed Marine Vehicles*, ISBN-13 97. New York: Cambridge University Press.
- [4] Avci, A. G. and Barlas, B. (2018). "An experimental and numerical study of a high speed planing craft with full-scale validation," *J. Mar. Sci. Technol.*, 26(5), pp. 617–628.
- [5] Nourghasemi, H., Bakhtiari, M. and Ghassemi, H. (2017) "Numerical study of step forward swept angle effects on the hydrodynamic performance of a planing hull," *Sci. Journals Marit. Univ. Szczecin*, 51(123), pp. 35–42.
- [6] Brizzolara, S. and Villa, D. (2010). "CFD Simulation of Planing Hull," in *Seventh International Conference On High-Performance Marine Vehicles*.
- [7] Samuel. (2019). "CFD Analysis on the Interceptor Performance of Planing Boat in Calm Water and Wave," Pukyong National University.

- [8] Samuel, Trimulyono, A. and Santosa, A. W. B. (2019). “Simulasi CFD pada Kapal Planing Hull,” *KAPAL J. Ilmu Pengetah. & Teknologi Kelaut.*, 16(3), pp. 123–128.
- [9] Wheeler, M. P., Matveev, K. I. and Xing, T. (2018). “Validation Study of Compact Planing Hulls at Pre-Planing Speeds,” in *ASME 2018 5th Joint US-European Fluids Engineering Summer Conference FEDSM2018*, 2, pp. 1–8.
- [10] Sukas, O. F., Cakici, F. and Gokce, M. K. (2014). “Numerical Simulation of Fridsma Hull Using Overset Grid System,” in *19th “Numerical Towing Tank Symposium” (Nutts’16)*.
- [11] Launder, B. E. and Spalding, D. B. (1974). “The Numerical Computation of Turbulent Flow Computer Methods,” *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.*, pp. 269–289.
- [12] ITTC. (2011). “Recommended Procedures and Guidelines Practical Guidelines for Ship CFD,” (9), pp. 1–18.
- [13] Mancini, S. (2015). “The Problem of Verification and Validation Processes of CFD Simulations of Planing Hulls,” *Università Degli Studi Di Napoli Federico II Dipartimento*.
- [14] Savitsky, D. (1964). “Hydrodynamic Design of Planing Hulls,” *Mar. Technol.*, 1(1), pp. 71–95.