

## MESHING STRATEGI UNTUK MEMPREDIKSI HAMBATAN TOTAL PADA KAPAL PLANING HULL

**Abubakar Fathuddiin**

Mahasiswa  
Universitas Diponegoro  
Departemen Teknik Perkapalan

**Samuel**

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Universitas Diponegoro  
Departemen Teknik Perkapalan  
Email: samuel@ft.undip.ac.id

*A high-speed vessel has a range of Froude Number ( $Fr$ )  $> 1$ . A drag prediction method based on  $Fr > 1$  has high complexity because it is influenced by trim and heave motions. Hence, a specific treatment is necessary to obtain accurate results. This study is using mesh density and mesh shapes to predict the total drag of a planing hull ship. The Computational Fluid Dynamic (CFD) results show good performance in predicting the drag, trim, and heave. Mesh density of 2300K shows the most stabilized result. The trimmed mesh type is more efficient to obtain accurate results because it has a smaller mesh size. The polyhedral mesh type is as good as trimmed mesh but is not as efficient as trimmed mesh and it has largely a time-consuming time.*

**Keywords:** Planing Hull, CFD, Mesh

### 1. PENDAHULUAN

Metode komputasi numerik / *Computational Fluid Dynamic (CFD)* merupakan metode yang banyak digunakan saat ini untuk memprediksi interaksi suatu objek dengan fluida. Hal tersebut dikarenakan komputasi numerik memiliki kemampuan untuk memodifikasi model kapal yang cukup baik dibanding dengan pendekatan analitik. Ada 2 cara untuk memastikan data hasil komputasi numerik benar atau valid. Pertama yaitu dengan membandingkan dengan hasil eksperimen sehingga dapat diketahui nilai *error* yang terjadi. Kemudian yang kedua yaitu membandingkan beberapa ukuran mesh hingga tidak terjadi perbedaan hasil yang signifikan (*dependent*). Beberapa studi sebelumnya yang menggunakan cara ini yaitu [1] dengan membandingkan mesh dengan 650K (*coarse mesh*), 900K (*medium mesh*) dan 1270K (*fine mesh*). Kemudian [2] dengan membandingkan mesh dengan 1000K (*coarse mesh*), 1400K (*medium mesh*) dan 2000K (*fine mesh*).

Kapal tipe *planing* yaitu memiliki gaya hidrostatis yang lebih kecil daripada gaya hidrodinamiknya [3]. Prediksi hambatan kapal bertipe *planing hull* lebih rumit dibandingkan kapal dengan tipe *displacement hull*, karena pada tipe *planing hull* memiliki gerakan *trim* (*rolling* sumbu  $y$ ) dan *heave* (*translasi* sumbu  $z$ ) yang mempengaruhi nilai hambatan total. Oleh karena itu, simulasi kapal tipe *planing* cukup rumit sehingga masih terjadi ketidakakuratan hasil pada *Froude number* tinggi. Beberapa penelitian sebelumnya yang melakukan simulasi kapal tipe *planing hull* yaitu [4] melakukan simulasi kapal *planing* dengan metode *overset mesh* dan menerapkan metode *phase replacement* dalam mengurangi NVP (*Numerical Ventilation Problem*). Cara lain untuk mengurangi NVP dilakukan dengan *mesh refinement* [5]. Selanjutnya penelitian mengenai prediksi hambatan pada kapal *planing hull* [6]. Pada penelitian tersebut dilakukan pada kondisi perairan bergelombang dengan menggunakan metode *moving grid* dan tipe *trimmed mesh*. Penelitian lainnya tentang optimasi *step hull* pada kapal *planing hull* dengan menggunakan tipe *mesh tetrahedral* [7]. Pada penelitian ini dilakukan 2 validasi yaitu terhadap eksperimen dan *mesh independency*. Studi tentang verifikasi bentuk lambung *Fridsma hull form* dengan metode *overset grid* dan tipe *mesh trimmed* dilakukan untuk memastikan bahwa CFD dapat memprediksi hambatan pada kapal cepat [8,9]. Penelitian tentang kapal *planing* dengan lambung *deep-V* pada kondisi air tenang dilakukan dengan menggunakan bentuk kapal yang lebih rumit [10]. Penelitian tersebut menggunakan metode *mesh moving* dan tipe *mesh trimmed* dengan validasi hasil menggunakan data eksperimen.

Pada tahun 1969, Gerald Fridsma melakukan eksperimen kapal dengan tipe *planing hull* pada kondisi air tenang (*smooth-water*) dan bergelombang (*rough-water*). Hull yang digunakan dalam eksperimen dikenal sebagai *Fridsma hull form*. Selain 2 kondisi perairan, ada beberapa variabel yang digunakan dalam penelitiannya seperti panjang *hull* (*lambung*), *displacement*, LCG (*Longitudinal Center of Gravity*), sudut *dead-rise*, kecepatan dan beberapa variabel lainnya [11].

Mesh secara umum dibagi menjadi 2 tipe yaitu *mesh* terstruktur dan *mesh* tidak terstruktur. *Mesh* terstruktur berbentuk segi empat sedangkan *mesh* tidak terstruktur berbentuk *polyhedral* dan *tetrahedral* [12]. Setiap tipe *mesh* memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing, baik dalam lama waktu *create mesh*, lama waktu komputasi hingga keakuratan hasilnya.

Berdasarkan fakta penelitian diatas, maka untuk memprediksi hambatan kapal cepat diperlukan strategi khusus untuk memperbaiki hasil simulasi. Sehingga pada penelitian ini akan dilakukan pendekatan menggunakan bentuk *mesh* dan kerapatan *mesh*. Pendekatan menggunakan metode tersebut diharapkan akan memperbaiki hasil akurasi CFD terhadap eksperimen.

**2. METODE**

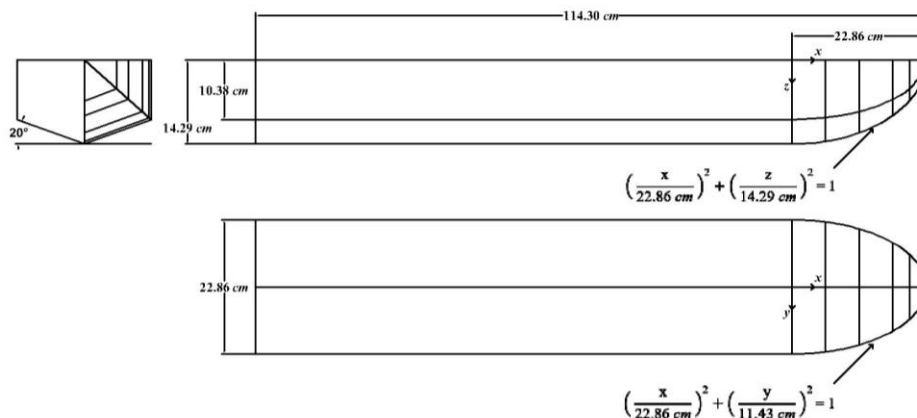
Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode komputasi yang kita kenal dengan CFD (*Computational Fluid Dynamic*). Metode untuk memperbaiki tingkat akurasi dengan mencari *mesh independency* untuk menganalisis hambatan kapal, sehingga tidak akan mengalami perubahan sejalan dengan penambahan jumlah *mesh*. Selanjutnya menganalisa hasil simulasi dengan tipe *mesh* yang berbeda beda pada *overset box*. Pembagian metode dalam penelitian ini meliputi objek penelitian yang berupa data eksperimen, kemudian *setup* dari metode numerik yang digunakan dan variabel *mesh* yang digunakan.

**2.1 Objek Penelitian**

Studi ini menggunakan data eksperimen dari Fridsma pada tahun 1969 sebagai validasi terhadap eksperimen. Data eksperimen yang digunakan yaitu lambung uji coba pada keadaan air tenang yang dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 1. Pada studi ini digunakan 3 variasi kecepatan dengan Froude number 1.19, 1.49 dan 1.79.

**Tabel 1:** Data Eksperimen Fridsma [11]

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>o</sub>	Derajad	1.569
B	Derajad	20
Δ	Kg	10.890
I <sub>yy</sub> = I <sub>zz</sub>	Kg.m <sup>2</sup>	0.235



**Gambar 1:** Fridsma hull form [11]

### 2.2 Metode Numerik

RANS (*Reynolds-Averaged Navier-Stokes*) merupakan metode pemecahan masalah berdasarkan hukum konservasi massa dan momentum. Persamaan RANS banyak digunakan dalam pemecahan masalah hidrodinamik dengan aliran *incompressible* yang ditunjukkan dalam persamaan 1 dan 2.

$$\nabla \cdot U = 0 \tag{1}$$

$$\rho \frac{\partial U}{\partial t} = -\nabla P + \mu \Delta U + \nabla \cdot T_{Re} + S_M \tag{2}$$

Dimana  $\nabla$  adalah volume,  $U$  adalah vektor kecepatan rata-rata,  $\rho$  adalah massa jenis,  $t$  adalah waktu,  $P$  adalah bidang tekan rata-rata,  $\mu$  adalah viskositas dinamis,  $T_{Re}$  adalah tensor dari *Reynolds stress*,  $\Delta$  adalah *displacement* dan  $S_M$  adalah vektor sumber momentum. Komponen  $T_{Re}$  dihitung dengan menggunakan model turbulensi yang dipilih, sesuai dengan hipotesis Boussinesq pada persamaan 3.

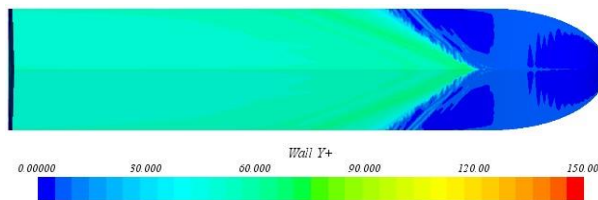
$$\tau_{ij}^{Re} = \mu_t \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \tag{3}$$

Dimana  $\mu_t$  adalah viskositas turbulen,  $k$  adalah energi kinetik turbulen. Ada banyak model turbulensi yang dapat digunakan untuk menutup masalah hidrodinamik dalam metode RANS. Secara khusus dalam bidang hidrodinamik, model turbulensi yang banyak digunakan adalah model dua persamaan tersebut, seperti SST  $k-\omega$  dan  $k-\epsilon$ .

*Wall function* ( $y^+$ ) digunakan untuk mengurangi ketidakakuratan perhitungan. Nilai  $y^+$  antara 45 – 60 untuk mendapatkan hasil yang akurat [13], sedangkan pada penelitian lain menyarankan nilai  $y^+$  berada pada rentang 50-150 [14]. Pada penelitian ini digunakan  $y^+$  seperti pada Gambar 2. Perhitungan nilai  $y^+$  menurut ITTC [15] yang ditunjukkan pada persamaan 4.

$$\frac{y}{L} = \frac{y^+}{Re \sqrt{\frac{C_f}{2}}} \tag{4}$$

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



**Gambar 2:** Visualisasi  $y^+$  pada Fr 1.79

*Time-step* digunakan dalam simulasi aliran *unsteady*. *Time step* merupakan interval periode untuk setiap perhitungan iterasi. Untuk menentukan *time-step* pada perhitungan CFD tergantung pada kecepatan kapal. Semakin cepat kecepatan kapal, semakin kecil nilai *time-step* dan semakin lama waktu penyelesaiannya. Penentuan *time-step* yang direkomendasikan oleh ITTC [15] terdapat pada persamaan 5. Dengan  $L$  sebagai panjang kapal dan  $V$  sebagai kecepatan kapal.

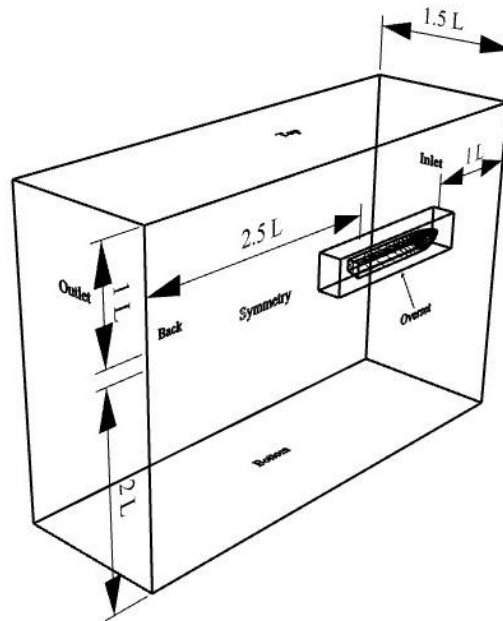
$$\Delta t_{ITTC} = 0.005 \sim 0.01 \frac{L}{V} \tag{5}$$

### 2.3 Meshing

Metode *overset mesh* membagi dua geometri dari *virtual towing tank* yaitu *background* sebagai donor dan *overset* sebagai *acceptor*. Dimensi yang digunakan dalam penelitian ini seperti tertera pada Tabel 2 dan Gambar 3 yang mengikuti rekomendasi ITTC. Dengan  $L$  adalah panjang kapal,  $H$  adalah tinggi kapal, dan  $B$  adalah lebar kapal.

**Tabel 2:** Dimensi *towing tank*

Parameter	Background	Overset
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 3:** Dimensi dan *surface domain*

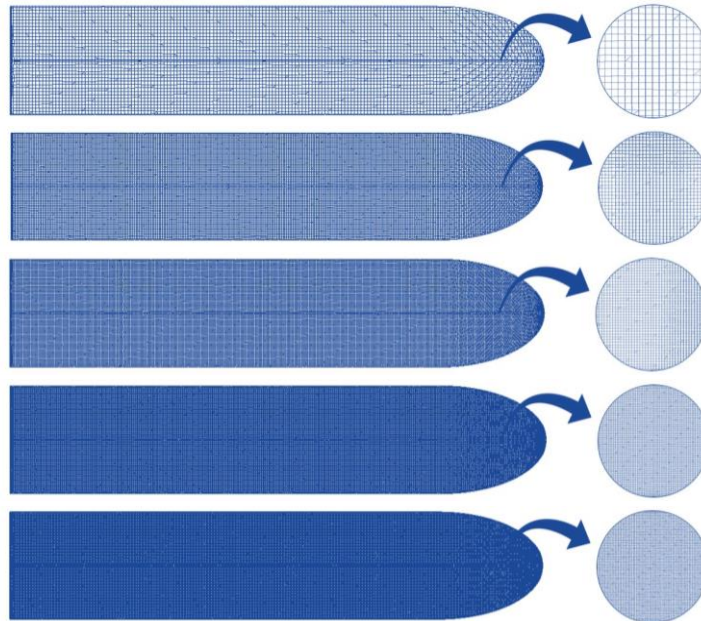
Kerapatan *mesh* difokuskan pada objek dan permukaan air agar hasil tetap akurat dalam waktu komputasi yang relatif lebih cepat. *Mesh refinement* dilakukan dengan menggunakan metode *anisotropic mesh* untuk memfokuskan pada ordinat x, y, atau z. Pada simulasi ini kerapatan *mesh* dibagi menjadi beberapa bagian untuk mendapatkan *mesh independency* seperti pada Tabel 3 dan Gambar 4. Jumlah total elemen dari variasi kerapatan *mesh* dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 3:** Kerapatan *mesh*

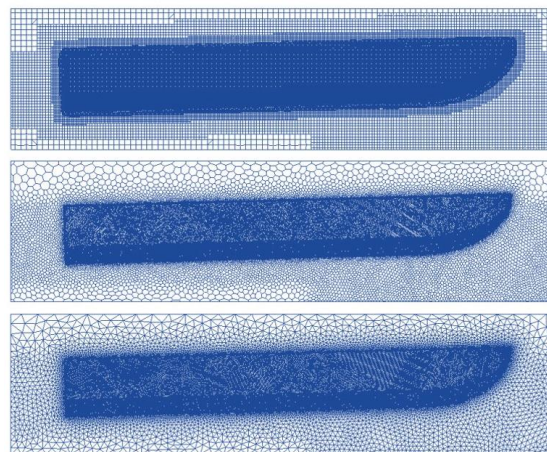
Nama bagian	Dimensi <i>mesh</i>
<i>Far Field</i>	0.7874 L
<i>Block 1</i>	0.0492 L
<i>Overlap</i>	0.0123 L
<i>Overset</i>	0.0230 L
<i>Free Surface</i>	0.0062 L
<i>Hull</i>	
- <i>Very Coarse</i>	0.0062 L
- <i>Coarse</i>	0.0031 L
- <i>Medium</i>	0.0025 L
- <i>Fine</i>	0.0015 L
- <i>Very Fine</i>	0.0014 L

**Tabel 4:** Jumlah elemen *mesh*

Kualitas <i>mesh</i>	Jumlah total elemen
<i>Very Coarse</i>	487,054
<i>Coarse</i>	897,038
<i>Medium</i>	1,440,767
<i>Fine</i>	2,331,333
<i>Very Fine</i>	2,990,983



**Gambar 4:** Visualisasi kerapatan *mesh* secara berurutan dari atas ke bawah : *Very Coarse*, *Coarse*, *Medium*, *Fine* dan *Very Fine*



**Gambar 5:** Visualisasi tipe *mesh*, *Trimmed* (atas), *Polyhedral* (tengah) dan *Tetrahedral* (bawah)

Kemudian dibandingkan antara *mesh* terstruktur dengan tidak terstruktur pada bagian *overset box*. Hal ini mengikuti rekomendasi dari Mancini pada penelitiannya. Hasil penelitiannya yaitu *mesh* tidak terstruktur lebih baik dari *mesh* terstruktur dalam keakuratan hasil [16]. Namun sebagian besar penelitian menggunakan tipe *trimmed mesh* pada kedua geometri (*background* dan *overset box*) dan menunjukkan prediksi yang baik. Sehingga pada penelitian ini akan dibandingkan 2 tipe *mesh*, yaitu *mesh* tidak terstruktur (*Polyhedral* dan *Tetrahedral*) dan *mesh* terstruktur (*Trimmed*). Pada perbandingan tipe *mesh*, jumlah *mesh* dibatasi pada angka 2,300K elemen (*fine mesh*), sehingga membebaskan dimensi *mesh* (*Polyhedral* dan *Tetrahedral*). Dimensi *mesh* pada *hull* dan jumlah total elemen pada masing-masing variasi tertera pada Tabel 5.

Sedangkan untuk visualisasi tipe *mesh* dapat dilihat pada Gambar 5.

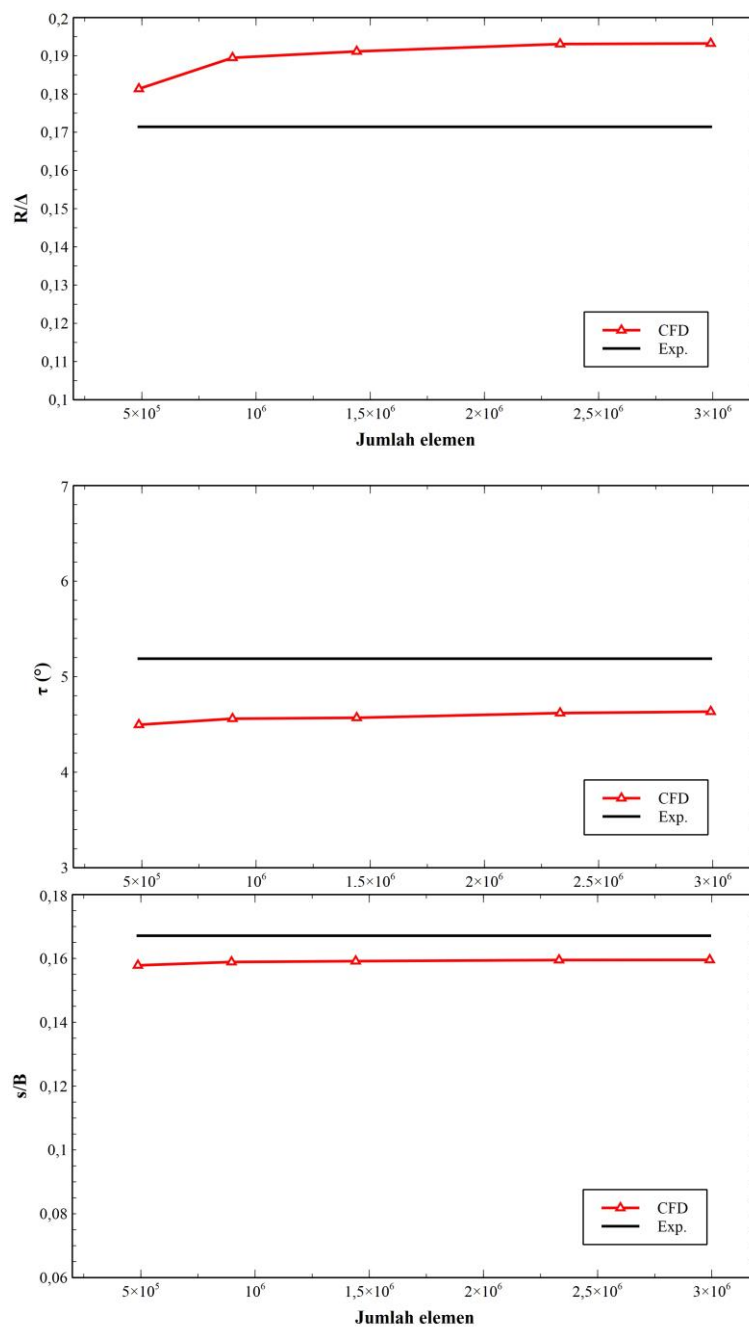
**Tabel 5:** Parameter perbandingan tipe *mesh*

Tipe <i>mesh</i>	Dimensi <i>mesh</i> ( <i>hull</i> )	Jumlah total elemen
<i>Trimmed</i>	0.0015 L	2,331,333
<i>Polyhedral</i>	0.0016 L	2,313,363
<i>Tetrahedral</i>	0.0028 L	2,330,155

### 3. HASIL DAN DISKUSI

Pada penelitian ini dilakukan *mesh independency* untuk memastikan hasil sudah stabil/dependen. Kemudian dilakukan variasi tipe *mesh* pada bagian *overset box* pada rentang *mesh* yang telah stabil/dependen.

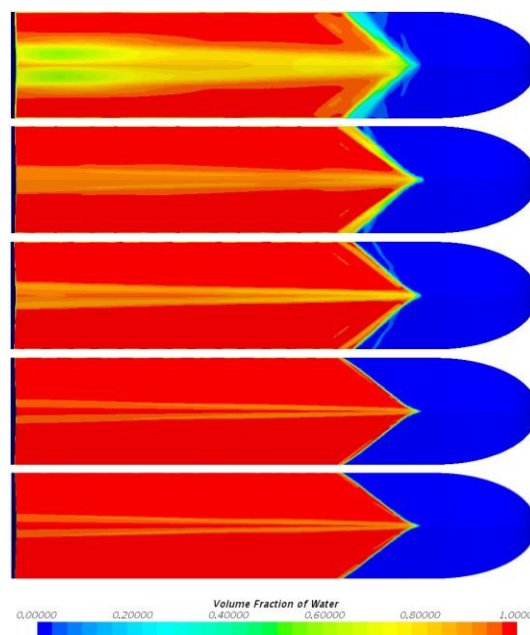
#### 3.1 Mesh Independency



**Gambar 6:** Grafik *mesh independency* dari hambatan, *trim* dan *heave*

*Mesh independency* divisualisasikan dengan perbandingan nilai hambatan, *trim* dan *heave* terhadap jumlah elemen seperti pada Gambar 6. Simulasi dilakukan pada Fr 1.79 dengan 5 variasi jumlah elemen. Pada komponen sumbu y, hambatan digambarkan dengan non dimensional unit  $R/\Delta$ , dengan R sebagai hambatan (N) dan  $\Delta$  sebagai berat kapal (N). *Trim* digambarkan dalam unit derajat ( $^{\circ}$ ). *Heave* dengan satuan non dimensional  $s/B$  dengan s sebagai *displacement* antara titik awal dan akhir pada sumbu z kapal (m) dan B sebagai lebar kapal (m). Sedangkan untuk komponen sumbu x yaitu variasi jumlah elemen dengan kualitas *very coarse*, *coarse*, *medium*, *fine* dan *very fine*.

Berdasarkan grafik hambatan, mesh sudah konvergen pada jumlah elemen 2,300K. Namun masih memiliki nilai *error* terhadap hasil eksperimen sebesar 11.2%. Berbanding terbalik jika dibandingkan hasil dari *very coarse* dengan error sebesar 5.5%. Hal tersebut dikarenakan terdapat aliran fraksi bukan air maupun udara yang melalui *hull* kapal seperti terlihat pada visualisasi *Wetted Surface Area* (WSA) (gambar 7). Sehingga hambatan yang dihitung akan lebih kecil karena massa jenis dianggap kecil (aliran campuran). Keadaan ini sama seperti hasil yang ditunjukkan pada penelitiannya Wheeler et al. [1] dan Mousaviraad et al. yang melakukan [17] simulasi numerik dengan Fridsma hull form. Penelitiannya Wheeler mengalami *error* sebesar 17.26 % dan penelitiannya Mousaviraad sebesar 20.99 % pda Fr 1.79.



**Gambar 7:** Visualisasi WSA pada Fr 1.79 secara berurutan dari atas kebawah : *Very Coarse*, *Coarse*, *Medium*, *Fine* dan *Very Fine*

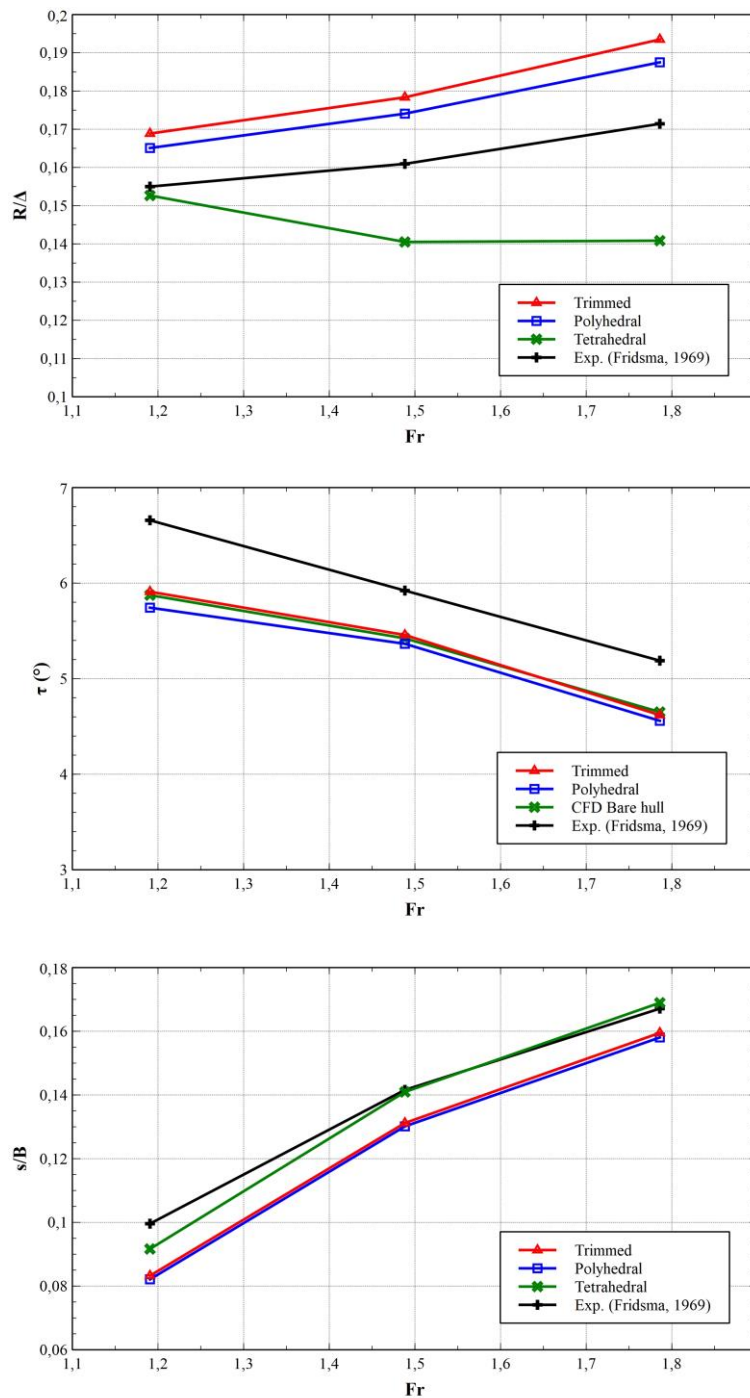
Hasil *trim* dan *heave* sudah konvergen pada jumlah elemen 2,300K. Nilai *error trim* hasil komputasi terhadap eksperimen sebesar 11.9-12.3%. Sedangkan nilai *error heave* hasil komputasi terhadap eksperimen sebesar 4.7%. Hasil ini cukup baik dimana memodelkan simulasi kapal tipe *planing* cukup kompleks karena membutuhkan 2 DOF. Selain itu sering terjadi *numerical ventilation* (NV) pada kecepatan tinggi. Hal tersebut mengurangi keakuratan hasil simulasi.

### 3.2 Perbandingan Tipe Mesh

Perbandingan tipe *mesh* dilakukan pada jumlah *mesh* yang menunjukkan nilai yang konvergen. Sehingga untuk memvariasi tipe *mesh*, masing-masing tipe *mesh* dibatasi dengan jumlah *mesh* pada angka 2,300K elemen. Sehingga ukuran *mesh* dibebaskan dengan *refinement* yang masih sama pada setiap set-upnya. Pada perbandingan tipe *mesh* digunakan 3 variasi kecepatan yaitu pada Fr 1.19, 1.49 dan 1.79.

Dari grafik hambatan pada Gambar 8, *mesh* dengan tipe *polyhedral* menunjukkan hasil yang paling baik dibandingkan tipe *mesh trimmed* dan *tetrahedral*. Memiliki selisih terhadap hasil eksperimen sebesar 6.1-8.6%. Sedangkan tipe *trimmed* memiliki selisih terhadap hasil eksperimen sebesar 8.2-11.2%. Terjadi *error* yang cukup besar pada simulasi dengan tipe *mesh tetrahedral*, yaitu sebesar 1.5-21.7%. Hal tersebut terjadi karena terjadi NV yang cukup parah pada daerah yang seharusnya daerah basah (WSA). Hal tersebut

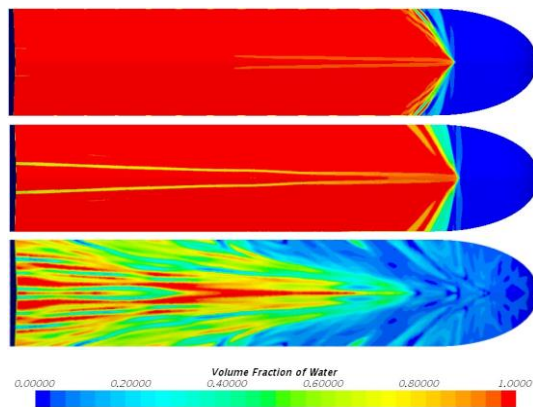
dapat dilihat melalui visualisasi WSA pada Gambar 9.



**Gambar 8:** Grafik hambatan, *trim* dan *heave* dari variasi tipe *mesh*

Dari grafik *trim* pada Gambar 8, mesh dengan tipe *trimmed* dan *tetrahedral* cukup baik dalam memprediksi dengan selisih sebesar 11.5-13.3% terhadap hasil eksperimen. Sedangkan mesh dengan tipe *polyhedral* memiliki selisih sedikit lebih besar yaitu 13.8-15.9%. Sedangkan pada grafik *heave*, hasil baik ditunjukkan oleh *mesh* dengan tipe *tetrahedral* dengan selisih hasil terhadap eksperimen sebesar 1.1-8.8%. Kemudian diikuti dengan tipe *mesh trimmed* dan *polyhedral* dengan selisih terhadap eksperimen sebesar 4.8-21.3%.



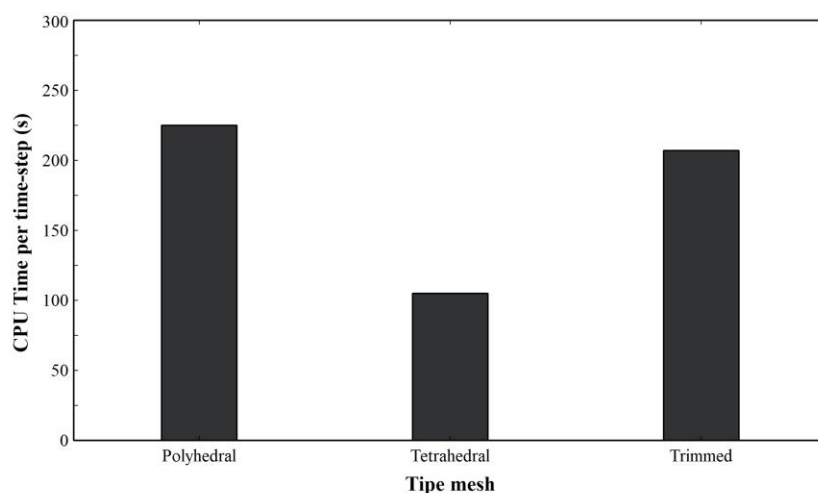


**Gambar 9:** Visualisasi WSA pada Fr 1.19 secara berurutan dari atas kebawah : *Trimmed*, *Polyhedral* dan *Tetrahedral*

Perbandingan lama waktu *create mesh* dibagi menjadi dua kondisi yaitu ketika jumlah *mesh* sama seperti pada yang digunakan pada penelitian ini dan ketika ukuran *mesh* yang sama. Pada kondisi jumlah *mesh* yang disamakan, *mesh* tipe *tetrahedral* lebih cepat dibandingkan dua tipe *mesh* lainnya. Sedangkan pada kondisi ukuran *mesh* yang disamakan, tipe *trimmed* lebih cepat dibandingkan dua tipe *mesh* lainnya yang dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 6:** Perbandingan waktu *create mesh* pada setiap tipe *mesh*

Tipe <i>mesh</i>	Lama <i>create mesh</i> (s)	
	Jumlah <i>mesh</i> sama	Ukuran <i>mesh</i> sama
<i>Trimmed</i>	473	317
<i>Polyhedral</i>	1481	1481
<i>Tetrahedral</i>	181	848



**Gambar 10:** Grafik perbandingan waktu komputasi pada tipe *mesh* *Trimmed*, *Polyhedral* dan *Tetrahedral*

Gambar 10 merupakan perbandingan rata-rata lama waktu perhitungan CPU per *time-step* pada tipe *mesh* *trimmed*, *polyhedral* dan *tetrahedral*. Dari grafik, tipe *mesh* *tetrahedral* memiliki waktu komputasi yang relatif lebih cepat dibanding dengan kedua *mesh* lainnya. Hal tersebut karena kerapatan *mesh* (*base mesh*) tipe *tetrahedral* lebih besar dibandingkan tipe *trimmed* dan *polyhedral*. Sedangkan *trimmed* dan *polyhedral* memiliki waktu komputasi yang relatif sama. Karena kerapatan *mesh* (*base mesh*) kedua tipe ini hampir sama.

#### 4. KESIMPULAN

*Mesh* dependen pada jumlah *mesh* 2300K dengan ditunjukkan hasil hambatan, *trim* dan *heave* yang stabil. Tipe *mesh trimmed* lebih efisien karena pada jumlah *mesh* yang sama, ukuran *mesh* (*base size*) lebih kecil dari 2 tipe lainnya, sehingga hasil akan lebih akurat. Tidak terjadi NV pada *mesh tipe trimmed*, namun terjadi NV cukup besar pada *mesh tipe tetrahedral*, sehingga mempengaruhi hasil prediksi. Tipe *polyhedral* sama baiknya dengan *trimmed*, namun tidak lebih efisien pada jumlah dan waktu komputasi, serta terjadi NV.

#### 5. PERNYATAAN TERIMA KASIH

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

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] WHEELER, M. P., MATVEEV, K. I., XING, T., "Validation Study of Compact Planing Hulls at Pre-Planing Speeds," in *ASME 2018 5th Joint US-European Fluids Engineering Summer Conference*, 2018, pp. 1–8.
- [2] IACONO, M., *Hydrodynamics of Planing Hull By CFD*, vol. 08, p. 202, 2015.
- [3] FALTINSEN, O. M., *Hydrodynamics of High-Speed Marine Vehicles*. New York: Cambridge University Press, 2005.
- [4] FATHUDDIIN, A. SAMUEL, KIRYANTO, WIDYANDARI, A. "Prediksi Hambatan Kapal dengan Menggunakan Metode Overset Mesh pada Kapal Planing Hull," *Jurnal Rekayasa Hijau*, vol. 4, no. 1, pp. 24–34, 2020.
- [5] SAMUEL, KIM, D. J., FATHUDDIIN, A. ZAKKI, A. F., "A Numerical Ventilation Problem on Fridsma hull form using an overset grid system," in *6th International E-Conference on Industrial, Mechanical, Electrical and Chemical Engineering (ICIMECE 2020)*, 2020.
- [6] SAMUEL, TRIMULYONO, A. and SANTOSA, A. W. B. "Simulasi CFD pada Kapal Planing Hull," *KAPAL : Jurnal Ilmu Pengetahuan & Teknologi Kelautan*, vol. 16, no. 3, pp. 123–128, 2019.
- [7] NOURGHASEMI, H., BAKHTIARI, M., GHASSEMI, H., "Numerical study of step forward swept angle effects on the hydrodynamic performance of a planing hull," *Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin*, vol. 51 (123), pp. 35–42, 2017.
- [8] SUKAS, O. F., CAKICI, F., GOKCE, M. K., "Numerical Simulation of Fridsma Hull Using Overset Grid System," in *19th Numerical Towing Tank Symposium*, 2016.
- [9] BRIZZOLARA, S. and VILLA, D., "CFD Simulation of Planing Hull," in *Seventh International Conference On High-Performance Marine Vehicles*, 2010.
- [10] SAMUEL, JOKOSISWORO, S., IQBAL, M., MANIK, P., RINDO, G., "Verifikasi Deep - V Planing Hull Menggunakan Finite Volume Method Pada Kondisi Air Tenang," *TEKNIK*, vol. 41, no. 2, pp. 126–133, 2020.
- [11] FRIDSMA, G., *A Systematic Study of The Rough-water Performance of Planning Boat*, New Jersey, 1969.
- [12] CD-ADAPCO, *User guide STAR-CCM 13.02.011-R8*. 2017.
- [13] AVCI, A. G. and BARLAS, B., "An experimental and numerical study of a high speed planing craft with full-scale validation," *Journal of Marine Science and Technology*, vol. 26, no. 5, pp. 617–628, 2018.
- [14] LOTFI, P., ASHRAFIZAARDEH, M. and ESFAHAN, R. K., "Numerical investigation of a stepped planing hull in calm water," *Ocean Engineering*, vol. 94, pp. 103–110, 2015.
- [15] ITTC, *Practical Guidelines for Ship CFD Applications*, 2011.
- [16] MANCINI, S., *The Problem of Verification and Validation Processes of CFD Simulations of Planing Hulls*, Università Degli Studi Di Napoli Federico II, 2015.
- [17] MOUSAVIRAAD, S. M., WANG, Z., STERN, F., "URANS studies of hydrodynamic performance and slamming loads on high-speed planing hulls in calm water and waves for deep and shallow conditions," *Applied Ocean Research*, vol. 51, pp. 222–240, 2015.