

# Evaluasi Karakteristik *Deep-v Planing Hull* dengan Menggunakan Metode *Moving Grid Mesh*

Samuel<sup>\*1</sup>, Muhammad Iqbal<sup>1</sup>, Andi Trimulyono<sup>1</sup>, Dedi Budi Purwanto<sup>2</sup>, Betty Ariani<sup>3</sup>

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

Jl. Prof. Sudarto, Tembalang, Kec. Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50275, Indonesia

Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember<sup>2</sup>

Jl. Teknik Kimia, Keputih, Kec. Sukolilo, Kota Surabaya, Jawa Timur 60111, Indonesia

Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surabaya<sup>3</sup>

Jl. Sutorejo No 59, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia 60113, Indonesia

E-mail: samuel@ft.undip.ac.id\*

Diterima: 24 Agustus 2020, disetujui: 2 Agustus 2021, diterbitkan *online*: 30 Juni 2022

## Abstrak

Karakteristik *deep-v planing hull* sangat dipengaruhi oleh bentuk dan kecepatan kapal. Bentuk haluan kapal akan mempengaruhi performance kapal pada saat kondisi air tenang dan gelombang. Semakin tinggi kecepatan kapal, maka akan semakin sulit untuk memprediksi karakteristik kapal tersebut. Kajian ini menggunakan pendekatan Computational Fluid Dynamic (CFD) dengan menggunakan metode *moving grid mesh* untuk mengevaluasi karakteristik kapal pada saat kondisi air tenang dan gelombang reguler. Perhitungan numerik menggunakan persamaan RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes) dengan memodelkan bentuk turbulensi dengan pendekatan  $k-\epsilon$  untuk menerka aliran disekitar badan kapal. Hasil simulasi pada kondisi air tenang hambatan menunjukkan tren yang baik pada kecepatan rendah, sementara pada kecepatan tinggi ada perbedaan yang signifikan. Pada kondisi gelombang reguler, hasil simulasi numerik masih memerlukan pendekatan yang lebih baik.

**Kata kunci:** CFD, *planing hull*, RANS, *moving grid mesh*.

## Abstract

**Evaluation of Characteristics of Deep-v Planing Hull Using Moving Grid Mesh Method:** *The characteristics of the deep-v planing hull are greatly influenced by the shape and speed of the ship. The shape of the ship's bow will affect the ship's performance during calm water and wave conditions. The higher the ship's speed, the more difficult it is to predict its characteristics. This research used the Computational Fluid Dynamic (CFD) approach by using the moving grid mesh method to evaluate ships' characteristics during calm water and regular wave conditions. The numerical approach uses the RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes) equation by modeling the shape of turbulence with the  $k-\epsilon$  approach to predict the flow around the ship's hull. Simulation results in calm water conditions show a good agreement at low speeds. Meanwhile, at high speeds, there are significant differences. At regular wave conditions, numerical simulation results still need a better approach.*

**Keywords:** CFD, *planing hull*, RANS, *moving grid mesh*.

## 1. Pendahuluan

Kapal dengan kecepatan tinggi didominasi oleh gaya hidrodinamika, sementara pada kecepatan rendah didominasi oleh gaya hidrostatis. Hal ini bertujuan mengurangi area permukaan yang basah. *Deep-v planing* adalah salah satu jenis kapal berkecepatan tinggi yang sebagian besar bobotnya didukung oleh gaya angkat yang bekerja di bagian bawah lambung. Karakteristik bentuk lambung *planing*, seperti sudut *deadrise*, dan bentuk atau jumlah *chine* memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja hidrodinamik lambung *deep-v planing*. Oleh karena itu, perencanaan harus dirancang untuk memenuhi *performance* yang diinginkan.

Penelitian tentang kapal *planing hull* berhasil dilakukan pada kecepatan tinggi dengan melakukan uji eksperimental tentang pengaruh efek sudut *deadrise*, *displacement*, rasio panjang dan lebar, dan letak titik gravitasi [1]. Savitsky dan Brown merumuskan formula empiris untuk memprediksi hambatan pada air tenang dan hambatan tambahan atau *added resistance*. Saat ini perhitungan menggunakan metode Savitsky sudah banyak digunakan untuk memprediksi hambatan pada kapal cepat dengan pendekatan empiris [2]. Metode Savitsky memiliki keterbatasan dalam memprediksi kapal ketika menggunakan geometri yang rumit sehingga untuk memprediksi hambatan dan gerak kapal, para peneliti cenderung melakukan simulasi dengan menggunakan CFD (*Computational Fluid*

*Dynamics*). Pada beberapa tahun terakhir, bentuk kapal semakin berkembang sehingga para desainer dituntut untuk terus melakukan perkembangan di bidang mekanika fluida. Kim et al. mengembangkan bentuk geometri kapal yang tidak sederhana dengan menempatkan beberapa *strikes*. Pengujian eksperimen kapal *deep-v planing* dilakukan untuk melihat kemampuan kapal dengan menggunakan dimensi yang berbeda [3].

Perkembangan komputasi di era modern saat ini berkembang sangat cepat, salah satunya dengan perkembangan persamaan *Navier-stokes* yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan hidrodinamika pada aliran fluida. Penelitian tentang hidrodinamika yang menggunakan persamaan Navier-stokes banyak dilakukan untuk memprediksi hambatan kapal. Salah satu penelitian yang pernah dilakukan oleh Yousefi et al. membahas tentang beberapa metode CFD yang berkaitan dengan kapal *planing hull*. Penelitian tersebut menjelaskan tiga metode yang dapat digunakan untuk memprediksi hambatan, yaitu *Finite Volume Method* (FVM), *Finite Element Method* (FEM), dan *Boundary Element Method* (BEM). FVM adalah metode yang paling banyak digunakan untuk memprediksi karakteristik kapal *planing hull* karena akurasi yang lebih baik dibandingkan dengan metode yang lain [4]. Beberapa penelitian telah sukses menggunakan CFD untuk mengembangkan optimasi desain kapal [5][6][7][8][9].

Berikutnya, penelitian tentang hambatan kapal katamaran menggunakan FEM pada tahun 2015 berhasil dilakukan oleh Samuel untuk memprediksi hambatan kapal katamaran dengan mengabaikan gerakan kapal [10]. Penelitian tersebut dilanjutkan dengan memodifikasi penambahan *centerbulb* untuk mengurangi hambatan total [11][12]. Keterbatasan pada penelitian ini yaitu dinamika gerakan naik turun kapal diabaikan karena ketidakmampuan simulasi komputasi. Pada tahun berikutnya, penelitian tentang kapal *planing hull* dengan menggunakan metode FVM untuk melihat karakteristik kapal dengan mengikutsertakan gerakan kapal telah dilakukan. Gerakan naik turun kapal pada kondisi air tenang dan kondisi gelombang dengan menggunakan geometri sederhana berhasil dilakukan pada kecepatan rendah dan tinggi [13]. Penelitian terakhir dilakukan pada kapal *deep-v planing hull* untuk melihat kemampuan CFD pada kondisi air tenang [14].

Permasalahan yang sering terjadi pada kapal cepat dengan pendekatan numerik adalah NPV. *Numerical Ventilation Problem* (NVP) dapat terjadi pada kapal dengan kecepatan tinggi karena bentuk haluan yang tinggi dan posisi trim kapal yang tinggi, sehingga terjadi campuran air dan udara yang akan membuat kurangnya akurasi dalam penelitian CFD. Pada penelitian Avci dan Barlas NVP dibahas dengan

menggunakan metode visualisasi dan *phase replacement* [15].

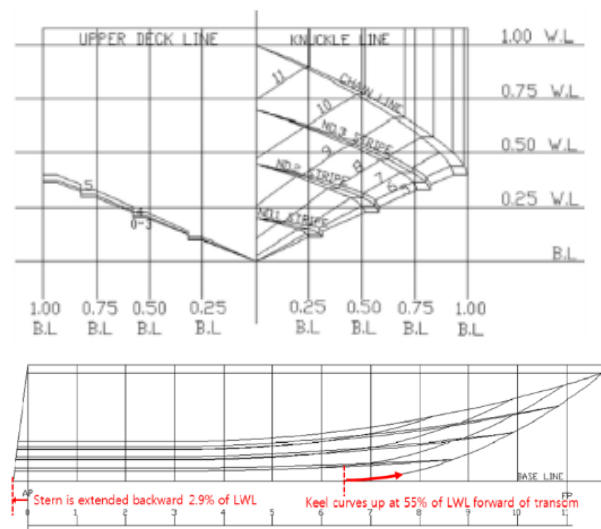
Tujuan kajian ini yaitu mengetahui karakteristik kapal *deep-v planing hull* dengan menggunakan bentuk geometri yang rumit pada kondisi air tenang dan gelombang reguler menggunakan pendekatan komputasi. Dinamika gerakan kapal pada kajian ini menjadi informasi yang penting untuk dibahas. Kajian ini akan memberikan informasi tentang keterbatasan dalam pendekatan numerik pada kapal *planing hull*.

## 2. Metodologi

Kajian ini menggunakan lambung kapal *deep-v planing hull* yang berstandar *International Towing Tank Conference* (ITTC) sehingga akurasi dalam pengujian menggunakan CFD dapat dibandingkan dengan uji eksperimen. Kajian ini dilakukan pada kondisi perairan gelombang, sesuai kondisi pada saat pengujian eksperimen.

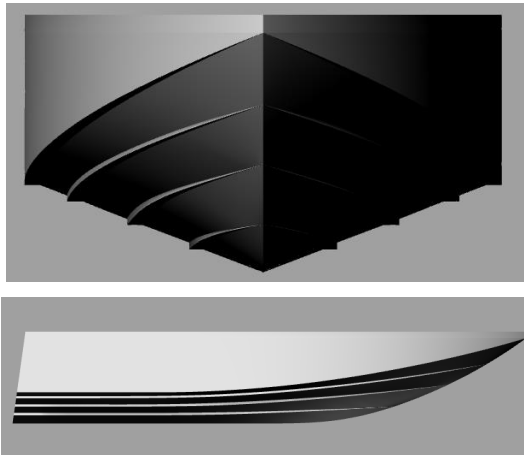
### 2.1. Metode Pengumpulan Data

Kajian ini menggunakan data pada pengujian eksperimen yang dilakukan oleh Kim dengan melaporkan tiga bentuk kapal *deep-v planing hull* yaitu VPS, VWS dan VWC. VPS adalah kapal *deep-v planing hull* yang akan digunakan pada kajian ini. VPS memiliki definisi *Deep-v Short Planing* yang artinya panjang kapal yang pendek dengan tipe *planing*. Kapal tanpa awak ini digunakan untuk keperluan militer di Korea Selatan untuk mendukung angkatan laut. Lambung kapal ini memiliki tiga buah *strikes* pada lambung bagian bawah kapal yang berfungsi mengurangi hambatan kapal [3]. Setelah pengujian eksperimental dengan skala 1:6,5 dilakukan, pengujian skala 1:1 dilakukan untuk melihat kemampuan manuver pada tahun 2017 [16].



Sumber: [3]

**Gambar 1.** Geometri 2-D VPS



Sumber: Hasil analisis, 2020  
**Gambar 2.** Geometri 3-D VPS

Gambar 1 menunjukkan bentuk geometri 2-D. Model kapal yang digunakan pada kajian ini merupakan hasil uji eksperimen yang pernah dilakukan Kim et al. [3]. Selanjutnya, model eksperimen tersebut di desain ulang untuk input simulasi numerik dalam bentuk 3-D. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan *Non-Uniform, Rational B-spline Surface* (NURBS) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. NURBS adalah model matematika yang digunakan dalam grafik komputasi. Tahapan pemodelan dilakukan dengan mendefinisikan garis, *surface*, dan volume. Ukuran utama VPS dapat dilihat pada Tabel 1 untuk memastikan bentuk dan volume kapal pada Gambar 1.

2.2. Pengolahan Data

CFD dikembangkan untuk memprediksi bentuk aliran, tanpa mengabaikan akurasi perhitungan. Setiap program CFD menggunakan persamaan matematika untuk menyelesaikan aliran fluida. FVM adalah CFD yang merepresentasikan dan mengevaluasi persamaan diferensial parsial menggunakan RANS. Persamaan RANS mendefinisikan hukum konservasi massa dan

**Tabel 1.** Ukuran utama VPS

Dimensi (unit)	VPS
L (m)	0,927
LWL (m)	0,796
B (m)	0,308
T (m)	0,080
Δ (Kg)	89,26
β at A.P (°)	20
β at <i>midship</i> (°)	23
β at F.P (°)	32
LCG (m)	0,286
C.G from baseline (m)	0,137
k (%L)	21,8

Sumber : [3]

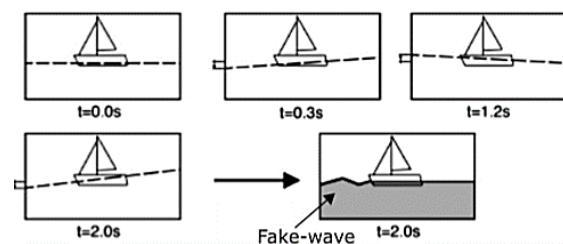
momentum. Langkah pertama dari diskritisasi adalah membagi domain komputasi menjadi jumlah volume yang terbatas, membentuk apa yang disebut *mesh* atau *grid*. Selanjutnya, persamaan diferensial parsial terintegrasi dalam setiap volume dengan menggunakan teorema divergensi, menghasilkan persamaan aljabar untuk setiap sel. Di pusat sel, nilai rata-rata sel dari variabel aliran disimpan pada *node* tersebut [17]. Untuk membedakan fluida udara dan air, setiap *node* diasumsikan sebagai volume fraksi diantara nilai 1 sampai 0. Nilai *node* air dan udara bergantung pada perlakuan *node* tersebut. Permukaan air laut diasumsikan F, sebagai hukum konservasi:

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

Pada metode *moving grid mesh*, seluruh *grid* digerakkan sesuai dengan gerakan geometri. *Grid* itu sendiri tidak diubah tetapi tetap kaku. Pendekatan ini memiliki beberapa keunggulan sebab hanya variabel aliran yang harus dikoreksi sesuai dengan gerak geometri. Pendekatan *moving grid* sangat andal dan waktu untuk menggunakan pendekatan dengan metode ini sangat cepat. Penerapan metode ini memiliki dua kelemahan utama, yaitu hanya berlaku untuk gerakan satu geometri dan permukaan air harus diperhatikan agar terlihat halus.

Gambar 3 menunjukkan pola *grid* pada buritan lambung kapal yang mengikuti kontur permukaan bebas, sementara meningkatkan pola *grid trim angle* tidak lagi mengikuti permukaan bebas air [18]. Pada simulasi uji hambatan kapal pada fase awal, gerakan *trim* dan tenggelamnya lambung menyebabkan variasi ketinggian permukaan air di batas *inlet* dan *outlet*. Gerakan semacam itu memperkenalkan "gelombang palsu" ke dalam domain komputasi yang dapat mendorong osilasi tambahan pada trim, *sinkage*, dan hambatan. "Gelombang palsu" ini dapat memengaruhi konvergensi numerik secara signifikan.

Untuk mengurangi "gelombang palsu" dan untuk menghindari pola *grid* yang tidak lagi mengikuti permukaan yang bebas air, maka dilakukan pendekatan, yang pertama yaitu permukaan air masuk harus sedekat mungkin dengan lambung kapal. Jika *trim* akhir diketahui, maka harus



Sumber: [18]

**Gambar 3.** Skema metode *moving grid mesh*

digunakan sebagai kondisi awal untuk memosisikan lambung kapal, gunakan fungsi redaman pada permukaan gelombang di dekat *boundary*. Gerakan *pitch* dapat ditingkatkan dengan melihat hasil uji eksperimental untuk mempercepat hasil konvergensi, dan yang terakhir adalah dengan peningkatan jumlah *grid* pada permukaan air [18].

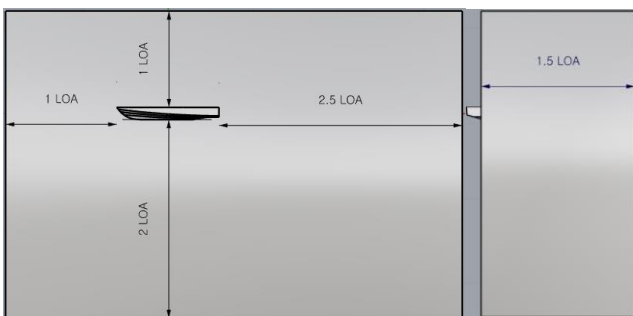
Salah satu alasan perlunya mempelajari  $y^+$  adalah untuk membedakan daerah yang berbeda di dekat dinding atau di daerah *viscous region*. Hal itu membantu dalam pemodelan turbulensi atau pemodelan CFD umum yang perlu dipahami dengan baik. *Wall function* ( $y^+$ ) yaitu dinding pemisah antara dinding dengan aliran fluida. Nilai  $y^+$  berperan penting untuk mengurangi kurangnya akurasi perhitungan. Perhitungan nilai  $y^+$  menurut ITTC yaitu [19]:

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

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

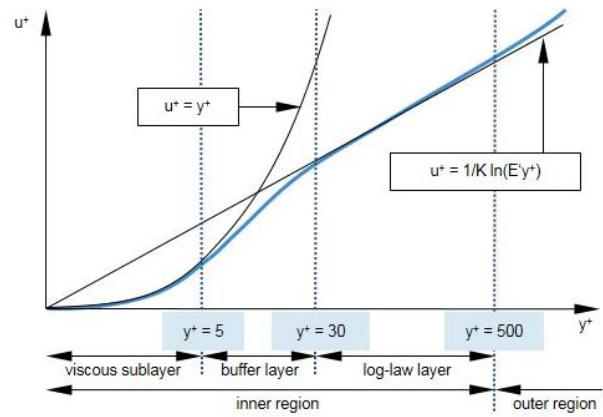
*Grid* harus diatur agar sesuai dengan hasil geometri dan aliran. Nilai  $y^+$  pada dinding sel yang berdekatan secara langsung mempengaruhi prediksi gesekan. Dalam hal ini, ketebalan lapisan pertama harus ditangani dengan hati-hati untuk mencapai jarak dinding yang paling cocok. Ada tiga wilayah fungsi dinding  $y^+$  yang ditunjukkan pada Gambar 4 yaitu kondisi *viscous layer*, artinya laminar sehingga dinding didominasi oleh efek *viscous* atau dapat diasumsikan bahwa tegangan geser Reynolds memiliki nilai yang kecil atau dapat diabaikan. Pada kondisi *viscous layer* dinamika aliran hanya tergantung pada densitas fluida, jarak dari dinding, dan viskositas. Selanjutnya, kondisi *the buffer layer* adalah daerah transisi antara daerah yang didominasi viskositas dan turbulensi dari aliran. Pada kondisi *log-law layer*, area didominasi secara merata oleh efek viskositas dan turbulensi [20].

Ukuran *time-step* terbaik untuk kapal tergantung pada kecepatan aliran dan fitur tambahan



Sumber: Hasil analisis, 2020

**Gambar 4.** Ilustrasi *domain* CFD



Sumber : [20]

**Gambar 5.** Fungsi  $y^+$  pada pemodelan CFD

yang harus diselesaikan. Misalnya, ketika memodelkan gelombang dengan *trim* dan *sinkage*, simulasi dapat memerlukan langkah waktu yang lebih kecil untuk memberikan informasi. Persamaan yang direkomendasikan oleh ITTC untuk *time-step* adalah sebagai berikut [20]:

$$\Delta t_{ITTC} = 0.005 \sim 0.01 \frac{L}{U} \tag{3}$$

Dengan  $L$  sebagai panjang kapal dan  $U$  sebagai kecepatan kapal. Pada kajian ini, nilai *time-step* berkisar pada 0,008.

Domain simulasi dibuat untuk mewakili domain fisik. Dimensi ini mengacu pada rekomendasi minimum pedoman praktis untuk CFD [19]. Pada Gambar 5, dimensi domain komputasi diilustrasikan, dan dimensinya dinyatakan dalam panjang lambung kapal menggunakan sistem koordinat Kartesius untuk 3-D. Untuk mengurangi waktu simulasi perhitungan dan mempermudah simulasi, sebuah bidang simetri dihasilkan sepanjang sumbu *longitudinal domain* sehingga geometri lambung kapal hanya digunakan setengah lambung saja. LOA adalah *length overall* atau panjang keseluruhan lambung kapal.

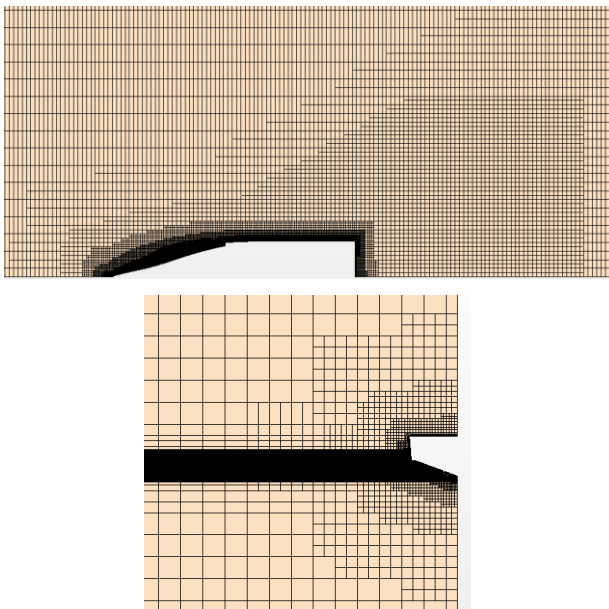
Densitas *mesh* fokus pada bentuk kapal dan fluktuasi permukaan air agar mengurangi waktu komputasi. Kerapatan mesh dideskripsikan dengan menggunakan bentuk anisotropic mesh pada ordinat  $x$ ,  $y$ , atau  $z$ . Ilustrasi kerapatan mesh ditunjukkan pada Gambar 6. Agar simulasi menghemat waktu

**Tabel 2.** Kerapatan *Mesh*

Nama Bagian	Dimensi Mesh
Far Field	0,060 LOA
Block 1	0,007 LOA
Block 2	0,030 LOA
Hull	0,006 LOA
Free Surface	0,002 LOA

Sumber : Hasil analisis, 2020





Sumber : Hasil analisis, 2020

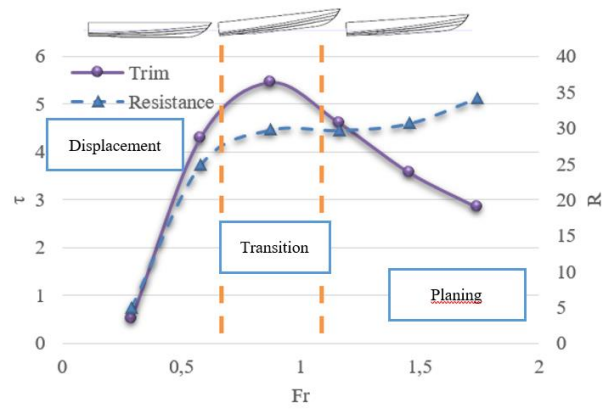
**Gambar 6.** Ilustrasi kerapatan *mesh* pada simulasi CFD pengujian, maka kerapatan *mesh* diatur ditunjukkan pada Tabel 2.

Studi ini menggunakan konfigurasi lapisan enam *grid mesh* prisma dan rasio ekspansi 1,2 sebagai rekomendasi dari Star-CCM+ dan ITTC. Simulasi CFD gerak kapal dibatasi pada gerakan rotasi sumbu y (*pitch*) dan gerak translasi searah sumbu z (*heave*), sedangkan gerakan kapal yang lain diabaikan untuk menyesuaikan tujuan kajian ini.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Simulasi yang pertama kali dilakukan pada kondisi air tenang, selanjutnya menentukan kecepatan kapal pada kondisi gelombang. Pada kondisi air tenang, unit yang digunakan adalah unit non-dimensional. Pada sumbu-X, nilai *Froude number* ( $Fr$ ) adalah angka yang memberikan ilustrasi kecepatan kapal menggunakan unit non-dimesional. Pada sumbu-Y, nilai  $R/\Delta$  mendefinisikan hambatan total kapal ( $R$ ) dan *displacement* kapal ( $\Delta$ ). Gambar 7 menunjukkan perbandingan hambatan total kapal berdasarkan kecepatan kapal atau *Froude number*. Perbandingan hambatan total pada simulasi CFD dan eksperimen menunjukkan kesesuaian yang cukup baik pada *Froude number* rendah, sedangkan pada kondisi *Froude number* tinggi terdapat perbedaan signifikan. Perbedaan ini terjadi karena beberapa faktor, yaitu bentuk haluan kapal yang tinggi, nilai sudut trim kapal yang tinggi, dan *numerical ventilation problem* (NPV) pada simulasi numerik.

Bentuk haluan kapal yang ekstrem mengakibatkan bercampurnya fluida udara dan fluida air sehingga *grid* atau *mesh* tidak bisa mendefinisikan nilai yang sesungguhnya. *Numerical Ventilation Problem* (NPV) adalah masalah yang sering timbul pada kapal cepat. Campuran aliran

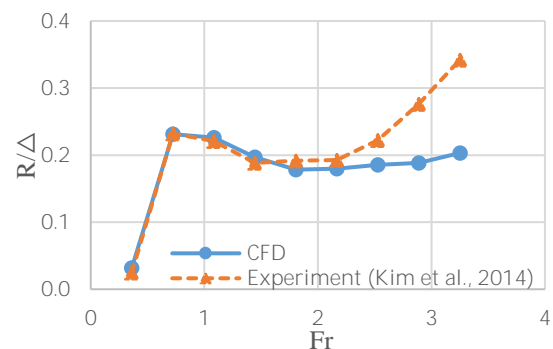


Sumber : Hasil analisis, 2020

**Gambar 7.** Klasifikasi kapal berdasarkan kecepatan pada simulasi CFD

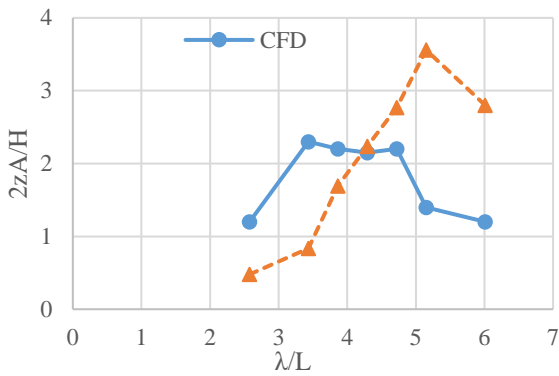
udara dan air pada bagian bawah lambung kapal menyebabkan prediksi karakteristik kapal pada kondisi *planing* tidak akurat.

Secara umum, kapal cepat dibagi menjadi tiga region, yaitu [13]: *displacement mode*, *transition mode*, dan *planing mode*. Pada kondisi *displacement mode*, kapal masih berada pada kecepatan rendah dan gaya hidrostatis masih mendominasi dibandingkan dengan gaya hidrodinamika. Pada kondisi ini kapal masih dapat diprediksi dengan akurasi yang baik, ditunjukkan dengan nilai *trim* ( $\tau$ ) yang rendah. Pada kondisi *transition mode*, kapal mulai mengalami peningkatan kecepatan atau kecepatan sedang. Pada kondisi ini kapal belum bisa diprediksi dengan baik karena kapal belum pada kondisi stabil. Dapat dilihat pada Gambar 7 bahwa kapal berada pada posisi *trim* yang ekstrem. Pada kondisi *planing*, gaya hidrodinamika menjadi lebih dominan dibandingkan dengan gaya hidrostatis. Hal ini yang menyebabkan tingkat akurasi pada perhitungan numerik menjadi tidak maksimal. Selain itu, bentuk kapal juga berpengaruh besar terhadap hasil simulasi numerik. Gambar 7 menunjukkan klasifikasi kapal berdasarkan kecepatan kapal yang mempengaruhi sudut *trim* kapal dan hambatan kapal. Pengujian eksperimen dan CFD ditunjukkan pada Gambar 8 sebagai input nilai hambatan yang digunakan pada kondisi gelombang.



Sumber : Hasil analisis, 2020

**Gambar 8.** Perbandingan simulasi hambatan total CFD dan eksperimen pada kondisi air tenang

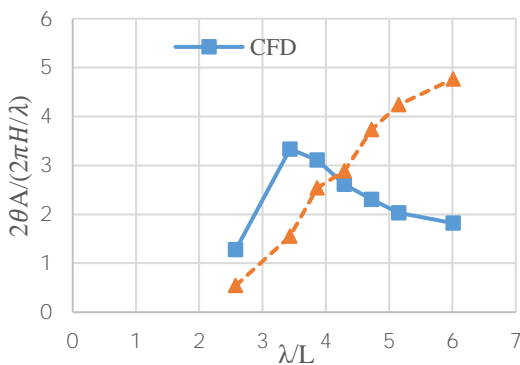


Sumber : Hasil analisis, 2020

**Gambar 9.** Perbandingan simulasi *heave* menggunakan analisa CFD dan eksperimen pada  $Fr = 1,44$  dan  $H = 0,04$  m kondisi gelombang reguler

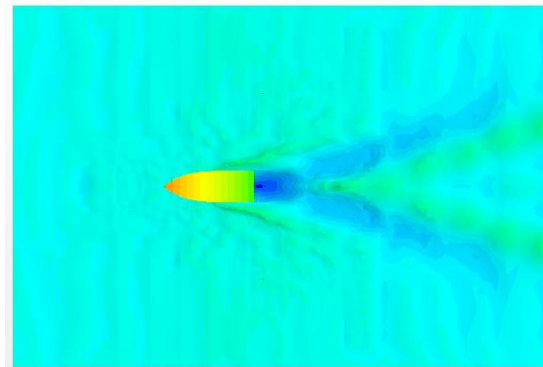
Simulasi berikutnya adalah pada kondisi gelombang. Merujuk pada penelitian yang dilakukan Kim et al. bahwa Model VPS menunjukkan fenomena *fly-over* atau *porpoising* pada kondisi gelombang reguler [3]. Lambung VPS keluar sepenuhnya pada kondisi *planing*, yang dikenal dengan kondisi *porpoising*. *Porpoising* adalah gerakan kopling yang tidak stabil dari *pitch* dan *heave* dalam kondisi air yang tenang. Fenomena *porpoising* atau *fly-over* biasanya terjadi ketika sebuah kapal beroperasi pada kondisi kecepatan tinggi. Secara umum, fenomena ini terjadi dalam kondisi gelombang, tetapi juga kondisi air yang tenang. Gerakan *heave* dan *pitch* diukur dalam gelombang reguler dengan berbagai panjang gelombang dengan kecepatan model kapal 4,04 m/s atau  $Fr = 1,44$  dan tinggi gelombang  $H = 0,04$  m. Kondisi pengujian eksperimen disesuaikan dengan kondisi pengujian CFD agar dapat dibandingkan.

Perbandingan pengujian numerik dan pengujian eksperimen ditunjukkan pada Gambar 9 dan Gambar 10. Pengujian tersebut menunjukkan perbandingan panjang gelombang, *heave*, dan *pitch*. Untuk mempermudah perhitungan, masing-masing unit dibuat non-dimensional. Nilai  $\lambda/L$  adalah perbandingan panjang gelombang ( $\lambda$ ) dan panjang kapal ( $L$ ). Nilai  $2zA/H$  adalah perbandingan *heave* ( $zA$ )



Sumber : Hasil analisis, 2020

**Gambar 10.** Perbandingan simulasi *pitch* menggunakan analisa CFD dan eksperimen pada  $Fr = 1,44$  dan  $H = 0,04$  m kondisi gelombang reguler



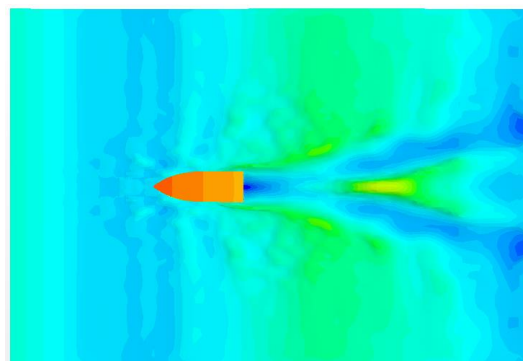
Sumber : Hasil analisis, 2020

**Gambar 11.** Hasil analisis CFD pada elevasi ketinggian permukaan air pada  $Fr = 1,084$  dengan kondisi air tenang

dan tinggi gelombang ( $H$ ). Nilai  $2\theta A / (2\pi H / \lambda)$  adalah perbandingan *pitch* ( $\theta A$ ) dan tinggi gelombang, panjang gelombang ( $2\pi H / \lambda$ ).

Simulasi numerik pada panjang gelombang yang rendah menunjukkan nilai *heave* dan *pitch* yang sesuai dengan eksperimen, sementara pada panjang gelombang yang tinggi pengujian numerik menunjukkan hasil yang kurang sesuai. Kajian ini menunjukkan perbedaan yang signifikan pada kondisi gelombang dengan panjang gelombang tinggi. Hal ini disebabkan beberapa hal, yang pertama disebabkan oleh mekanisme *balancer* pada pengujian eksperimen. Pada penelitian tersebut dijelaskan bahwa berat *balancer* yang berbeda akan menghasilkan sudut *pitch* dan *heave* yang berbeda. Kedua, pengaruh NVP mengakibatkan hasil yang tidak bisa maksimal pada kondisi gelombang ( $\lambda$ ) yang tinggi. Hasil simulasi numerik yang pernah dilakukan Samuel dengan menggunakan Fridsma *hullform* tidak bisa diterapkan pada geometri yang rumit. Perlu pendekatan yang lain untuk membuat akurasi kajian ini menjadi lebih baik. Salah satu pendekatan yang sering digunakan adalah *mesh refinement* atau *phase replacement*.

Gambar 11 menunjukkan tidak ada elevasi ketinggian permukaan air pada haluan kapal, yang



Sumber : Hasil analisis, 2020

**Gambar 12.** Hasil analisis CFD pada elevasi ketinggian permukaan air menggunakan CFD pada  $Fr = 1,44$  dan  $H = 0,04$  m kondisi gelombang reguler

disebut kondisi air tenang. Sementara simulasi pada Gambar 12 menunjukkan elevasi ketinggian permukaan air pada haluan kapal yang memperlihatkan gelombang datang. Gambar 11 dan Gambar 12 menunjukkan bentuk *wave pattern* yang berbeda. Semakin tinggi kecepatan maka akan semakin kecil sudut yang dibentuk pada buritan kapal.

#### 4. Kesimpulan

Simulasi CFD pada kapal *deep-v planing hull* menunjukkan hasil yang baik pada kecepatan rendah dengan kondisi air tenang, sementara pada kondisi kecepatan tinggi perlu ada pendekatan lain agar dapat diprediksi lebih akurat. Pada kondisi gelombang, nilai *heave* dan *pitch* menunjukkan perbedaan signifikan pada kondisi panjang gelombang yang tinggi. Pendekatan untuk menghilangkan NPV perlu dilakukan agar akurasi pada kajian selanjutnya mendapatkan hasil yang lebih baik.

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dong-Joon Kim dan Prof. Jong-Yong Park Laboratorium Naval Architecture and Systems Engineering, Pukyong National University sebagai data publikasi.

#### Daftar Pustaka

- [1] G. Fridsma, "A Systematic study of the rough-water performance of planing boats," Hoboken, New Jersey, 1969.
- [2] D. Savitsky and P. W. Brown, "Procedures for hydrodynamic evaluation of planing hulls in smooth and rough water," *Mar. Technol.*, vol. 13, no. 4, pp. 381–400, 1976.
- [3] D. J. Kim, S. Y. Kim, Y. J. You, K. P. Rhee, S. H. Kim, and Y. G. Kim, "Design of high-speed planing hulls for the improvement of resistance and seakeeping performance," *Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 161–177, 2013, doi: 10.3744/JNAOE.2013.5.1.161.
- [4] R. Yousefi, R. Shafaghat, and M. Shakeri, "Hydrodynamic analysis techniques for high-speed planing hulls," *Appl. Ocean Res.*, vol. 42, pp. 105–113, 2013, doi: 10.1016/j.apor.2013.05.004.
- [5] A. G. Avci and B. Barlas, "An experimental investigation of interceptors for a high-speed hull," *Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng.*, vol. 11, pp. 256–273, 2019, doi: 10.1016/j.ijnaoe.2018.05.001.
- [6] A. Sakaki, H. Ghassemi, and S. Keyvani, "Evaluation of the hydrodynamic performance of planing boat with trim tab and interceptor and its optimization using genetic algorithm," *J. Mar. Sci. Appl.*, no. September, 2018, doi: 10.1007/s11804-018-0040-6.
- [7] K. W. Song, C. Y. Guo, J. Gong, P. Li, and L. Z. Wang, "Influence of interceptors, stern flaps, and their combinations on the hydrodynamic performance of a deep-vee ship," *Ocean Eng.*, vol. 170, pp. 306–320, 2018, doi: 10.1016/j.oceaneng.2018.10.048.
- [8] M. Mansoori, A. C. Fernandes, and H. Ghassemi, "Interceptor design for optimum trim control and minimum resistance of planing boats," *Appl. Ocean Res.*, vol. 69, pp. 100–115, 2017, doi: 10.1016/j.apor.2017.10.006.
- [9] M. Mansoori and A. C. Fernandes, "Interceptor and trim tab combination to prevent interceptor's unfit effects," *Ocean Eng.*, vol. 134, pp. 140–156, 2017, doi: 10.1016/j.oceaneng.2017.02.024.
- [10] S. Samuel, M. Iqbal, and I. K. A. P. Utama, "An Investigation into the Resistance Components of Converting a Traditional Monohull Fishing Vessel into Catamaran Form," *Int. J. Technol.*, vol. 6, no. 3, p. 432, Jul. 2015, doi: 10.14716/ijtech.v6i3.940.
- [11] Samuel, D. J. Kim, M. Iqbal, A. Bahatmaka, and A. R. Prabowo, "Modification of Traditional catamaran to reduce total resistance: Configuration of centerbulb," in *International Maritime Association of the Mediterranean 2017*, 2017, pp. 541–546.
- [12] Samuel, D. J. Kim, M. Iqbal, A. Bahatmaka, and A. Rio Prabowo, "Bulbous bow applications on a catamaran fishing vessel for improving performance," *MATEC Web Conf.*, vol. 159, 2018, doi: 10.1051/mateconf/201815902057.
- [13] Samuel, A. Trimulyono, and A. W. B. Santosa, "Simulasi CFD pada Kapal Planing Hull," *Kapal*, vol. 16, no. 3, pp. 123–128, 2019, doi: 10.14710/kapal.v16i3.26397.
- [14] 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.
- [15] A. G. Avci and B. Barlas, "An experimental and numerical study of a high-speed planing craft with full-scale validation," *J. Mar. Sci. Tech.*, vol. 26, no. 5, pp. 617–628, 2018, doi: 10.6119/JMST.201810.
- [16] D. J. Kim and S. Y. Kim, "Comparative study on manoeuvring performance of model and full-scale Waterjet propelled planing boats," in *International Conference on Fast Sea Transportation*, 2017, pp. 126–135.
- [17] F. Moukalled, L. Mangani, and M. Darwish, "The finite volume method in computational fluid dynamics," in *Fluid Mechanics and its Applications*, vol. 113, Springer, 2016.
- [18] S. Mancini, "The problem of verification and validation processes of CFD simulations of planing hulls," Department of Industrial Engineering, Università Degli Studi Di Napoli, 2015.
- [19] ITTC, "Practical guidelines for ship CFD applications," 2014.
- [20] Star-CCM+, "User guide star-CCM+. Version 13.02." (2018).

Halaman ini sengaja dikosongkan