

TINJAUAN HAMBATAN PADA RANGCANGAN KAPAL TONGKANG TANPA AWAK MENGGUNAKAN METODE COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS-OPEN FOAM

Abrari Noor Hasmi¹, Samsu Dlukha Nurcholik², Muhammad Budi Prasetyo³,
Alamsyah⁴, Thorikul Huda⁵

¹Matematika, Institut Teknologi Kalimantan,
^{2,3,4}Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Kalimantan,
⁵Teknik Elektro, Institut Teknologi Kalimantan,
Jl. Soekarno Hatta No.KM, Karang Joang, Kec. Balikpapan Utara, Kota Balikpapan,
Kalimantan Timur, Indonesia

Email: abrari@lecturer.itk.ac.id¹

Abstrak

Di Indonesia, proses pengiriman batubara dengan kapal tongkang banyak dijumpai karena kemudahannya dimana kapal tongkang memiliki sarat air (draft) yang lebih kecil dibandingkan dengan jenis kapal lain. Penelitian ini mencoba menentukan hambatan pada kapal tanpa awak berbentuk kapal tongkang untuk beberapa kecepatan menggunakan metode CFD dengan program OpenFOAM. Metode ini mendiskritisasi persamaan Navier Stokes dengan menggunakan pendekatan metode volume hingga. Kapal tongkang digambar menggunakan perangkat lunak Maxsurf modeler sebelum diintegrasikan kedalam program CFD. Diskritisasi dilakukan dengan memastikan area sekitar lambung kapal terdiskritisasi cukup rapat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Hambatan pada kapal tongkang berkisar antara 39.39kN-227.963kN untuk kecepatan 3-9knot.

Kata Kunci: Komputasi Dinamika Fluida, OpenFOAM, Hambatan

Abstract

In Indonesia, the process of coal shipping with barges is prevalent due to the fact that barges have smaller draft compared to other vessels; The research was aimed to determine the resistance of a barge as an autonomous vehicle utilizing CFD method in OpenFOAM program. The method discretize Navier Stokes equations using finite volume method. The barges was drawn by virtue of Maxsurf modeler before integrated into the CFD program. The discretization should ensure that the vicinity of the ship was discretization adequately. The result shows that barge resistance is ranging at 39.39 kN - 227.963 kN at velocity 3-9 knots.

Keywords: Computational Fluid Dynamics, OpenFOAM, Resistance

1. PENDAHULUAN

Kapal tongkang banyak digunakan sebagai sarana pengangkut hasil bumi diantaranya batu bara, hal ini dipengaruhi oleh keleluasaan yang dimiliki oleh kapal tongkang untuk menyusuri perairan-perairan dangkal seperti sungai. Kemampuan kapal tongkang melewati daerah perairan ini dikarenakan sarat kapal yang relatif pendek, disertai dengan fleksibilitas kapal untuk dibangun cukup panjang dan lebar sehingga mampu mengangkut cukup banyak muatan dalam sekali pengiriman. Berdasarkan

hal ini, kemungkinan kapal tongkang akan terus digunakan, bukan hanya untuk batu bara yang sedang populer saat ini, namun juga hasil-hasil alam yang lain, misalnya kelapa sawit ataupun yang lainnya.

Dilain pihak, modernisasi dan otomatisasi akan mempengaruhi semua lini kehidupan, termasuk diantaranya perkapalan. Diantara bagian yang kemungkinan besar akan diotomatisasi dalam perkapalan adalah pengoperasian kapal menjadi lebih otomatis. Meskipun perkembangannya saat ini masih belum diterima secara luas, terutama

dikarenakan aspek pengaturan lalu lintas perairan yang cukup kompleks, riset tentang kapal tanpa awak cukup banyak dikembangkan untuk berbagai keperluan.

Makalah [1] merangkum secara cukup komprehensif riset-riset mengenai kapal tanpa awak serta contoh-contoh aplikasi yang diyakini dapat diperankan oleh USV, diantaranya adalah keperluan survei baik di daerah lautan maupun pesisir, eksplorasi sumber daya alam, ataupun untuk keperluan militer. Secara umum, peneliti yang mengembangkan kapal tanpa awak meyakini bahwa sistem autonomous memiliki kelebihan dibandingkan kapal dengan awak, diantaranya lebih efisien karena bisa digunakan beroperasi secara terus menerus karena tidak awak kapal yang harus beristirahat, dan juga lebih aman dikarenakan meminimalisir korban jiwa jika terjadi kecelakaan. Selain hal tersebut penulis makalah [1] juga mengidentifikasi manfaat lain dari USV yaitu dapat dibuat sekecil mungkin sehingga dapat bermanuver lebih baik serta dapat digunakan di perairan dangkal.

Mengingat hal tersebut, penulis mencoba merancang kapal tanpa awak berbentuk kapal tongkang. Lebih khusus, makalah ini mencoba membahas cara untuk menentukan hambatan yang akan dialami kapal. Harapannya nilai hambatan ini akan dapat digunakan sebagai masukan awal untuk identifikasi serta perancangan sistem kendali pada kapal. Untuk keperluan model, hambatan tongkang akan ditentukan untuk beberapa variasi kecepatan.

Secara umum, metode yang umum digunakan dalam penentuan hambatan bersama dengan parameter lain adalah melakukan eksperimen lalu menentukan nilai parameter optimum yang meminimalkan error pada data eksperimen. Diantaranya adalah [2] yang menggunakan metode nu-support untuk mengidentifikasi parameter pada olah gerak kapal. Makalah [3] membandingkan beberapa model kontrol untuk identifikasi parameter kontrol pada kapal tanpa awak. Pada penelitian ini akan digunakan pendekatan yang berbeda namun tetap menghasilkan aproksimasi hambatan kapal.

Metode yang digunakan pada riset ini untuk menentukan hambatan adalah simulasi numerik berbasis RANS (Reynold Averaged Navier Stokes). Simulasi dijalankan melalui perangkat lunak terbuka OpenFOAM. Meskipun program ini merupakan program terbuka, program ini telah banyak digunakan dan telah diverifikasi untuk menentukan hambatan pada berbagai macam bentuk lambung kapal, diantaranya [4] yang menggunakan program ini untuk menghitung hambatan pada kapal jenis katamaran. Perhitungan serupa untuk kapal DTC (*Duisburg Test Case*) dan *Cruise ship* dipublikasi pada [5]. Pada penelitian lanjutan, diharapkan perhitungan pada makalah ini dapat dibandingkan dengan metode-metode identifikasi yang langsung berdasarkan data-data eksperimen.

2. METODE

Pada bab ini akan dijelaskan langkah-langkah dalam penentuan hambatan kapal tanpa awak menggunakan program CFD OpenFOAM.

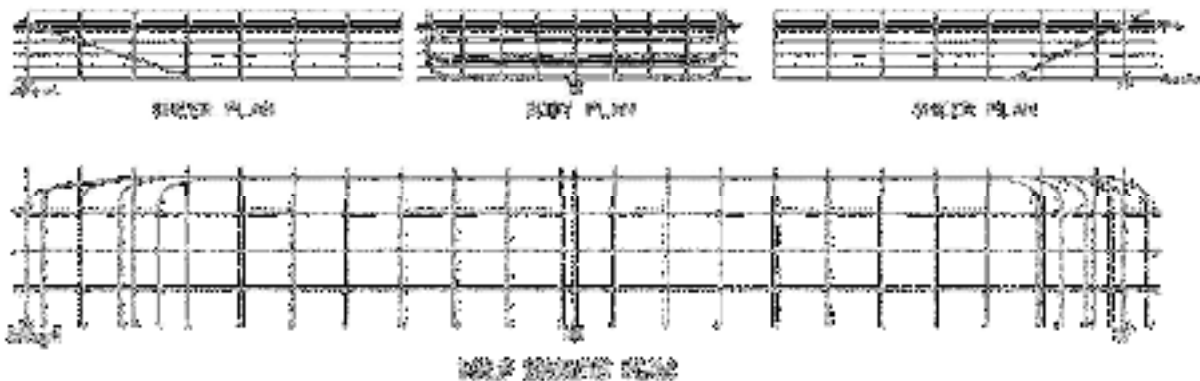
A. Model Matematika

Secara umum OpenFOAM mensimulasikan solusi dari persamaan Navier Stokes yang merepresentasikan dinamika fluida. Penjelasan cukup mendetail mengenai persamaan-persamaan matematis yang digunakan dalam OpenFOAM bisa ditemukan di publikasi [6], sedang dalam makalah ini akan disajikan ringkasan metode yang digunakan. Dalam simulasi ini, fluida diasumsikan adalah fluida viskos yang tidak dapat dimampatkan (*incompressible*), sehingga dapat dinyatakan sebagai:

$$\nabla \cdot U = 0 \quad (1)$$

$$U_t + \nabla \cdot (U \otimes U) = -\nabla \cdot \sigma + g \quad (2)$$

Persamaan (1) menyatakan kekontinuan massa sedangkan (2) merupakan persamaan momentum. U adalah vector kecepatan untuk tiga dimensi, ∇ adalah gradien di tiga dimensi, operator \otimes menyatakan produk luar dari dua vektor.



Untuk menambahkan aspek turbulen, penggunaan (1) dan (2) akan memerlukan mesh yang sangat kecil, sehingga biasanya penggunaan pendekatan Reynold Averaged Navier Stokes yang pada prakteknya digunakan. Model ini pada dasarnya membagi besaran-besaran di (1) dan (2) menjadi bagian stasioner dan bagian fluktuatif. Akibat dari asumsi ini, (1) dan (2) akan mengalami sedikit modifikasi serta mendapatkan persamaan tambahan yang memodelkan turbulensi pada aliran. Ada beberapa persamaan yang lazim digunakan, namun pada simulasi ini digunakan pendekatan $k - \omega$ SST [7].

Persamaan RANS didiskritisasi menggunakan pendekatan metode volume hingga (*Finite Volume Method*). Diantara alasan metode ini umum digunakan dalam simulasi fluida adalah karena volume fluida kekal pada metode ini, serta dapat digunakan dengan ukuran grid yang tidak seragam.

B. Data Kapal

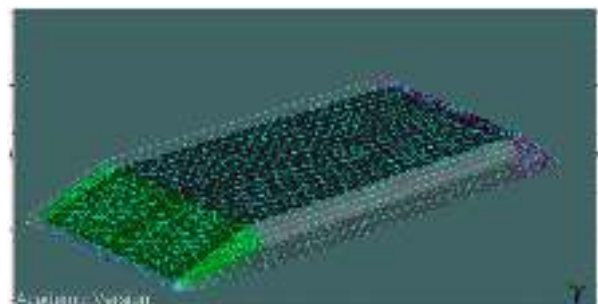
Kapal yang dibangun adalah kapal tongkang dengan dimensi utama dirangkum pada Tabel 1 dan rencana garis ditampilkan di Gambar 1.

Tabel 1 . Utama Kapal

Besaran	Nilai
LOA	91.440 m
Breadth	24.384 m
Depth	5.486 m
WSA	2763 m ²
Volume	8378 m ³

C. Pemodelan Geometri

Langkah selanjutnya adalah menggambar model 3 dimensi kapal menggunakan komputer. Agar gambar kapal bisa digunakan pada OpenFOAM, gambar kapal harus merupakan permukaan yang tertutup. Nantinya gambar ini akan diexport menjadi format .STL yang dapat dibaca oleh perangkat lunak OpenFOAM. Gambar 2 merupakan hasil geometri yang telah melalui tahap desain menggunakan software *Maxsurf Modeller*.



Gambar 2 Penggambaran Kapal Menggunakan Program *Maxsurf Modeller*

D. Meshing

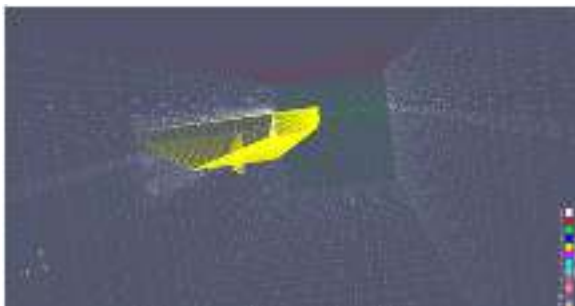
Langkah selanjutnya adalah pembuat mesh untuk diskritisasi model. Secara umum tahap pembuatan mesh dapat dibagi menjadi dua tahap.

Tahap pertama adalah pembuatan mesh dasar. Pada tahap ini mesh dibuat berbentuk heksagonal. OpenFOAM memberikan keleluasaan kepada pengguna untuk membagi daerah simulasi menjadi beberapa bagian

dengan ukuran mesh yang berbeda-beda. Dengan kepraktisan itu, mesh dirancang dengan mempertimbangkan aspek ketelitian geometri dan juga waktu komputasi, akibatnya mesh akan padat disekitar kapal, dan semakin renggang untuk daerah yang cukup jauh dari kapal. Dilain pihak, transisi antara diskritisasi rapat dan renggang harus cukup bertahap untuk menghindari adanya diskontinuitas pada simulasi.

Tahap selanjutnya adalah mengintegrasikan grid dasar dengan geometri kapal. Lekukan-lekukan pada kapal sangat mungkin berbeda dengan batas diskritisasi pada mesh dasar. Sehingga mesh dasar harus “dipotong” untuk menyesuaikan dengan bentuk geometri kapal yang ingin disimulasikan. Algoritme yang terdapat pada perintah bawaan OpenFOAM yaitu *snappyHexMesh* digunakan untuk memastikan bahwa grid pada fluida mengikuti kontur pada kapal tongkang.

Gambar 3 menampilkan gambaran diskritisasi pada domain komputasi. Objek berwarna kuning adalah kapal. Perhatikan bahwa semakin dekat dengan kapal, maka grid semakin rapat.



Gambar 3. Diskritisasi Domain Simulasi

E. Persiapan Lainnya

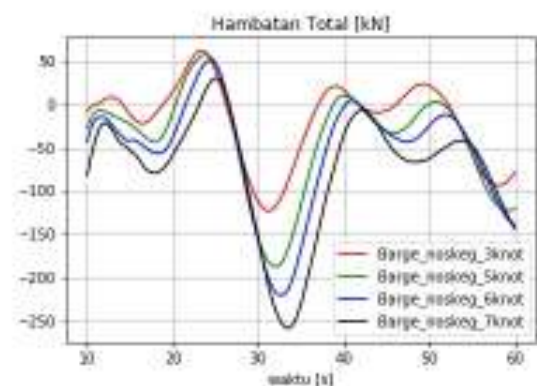
Sebelum menjalankan simulasi, ada beberapa parameter yang harus ditentukan oleh pengguna, diantaranya adalah kondisi batas pada ujung-ujung daerah simulasi. Secara umum, batas domain komputasi di depan kapal akan mengalirkan arus dengan kecepatan tertentu sebagai pengganti kecepatan kapal, sedang batas domain belakang akan sebagai

mengalirkan aliran dari belakang kapal keluar domain komputasi. Kecepatan arus akan divariasikan menyesuaikan kecepatan kapal yang ingin diketahui hambatanya.

Selain itu, batas air dan udara harus ditentukan dengan tinggi air berada tepat di batas sarat kapal. Untuk simulasi ini, kapal ditahan untuk tidak bergerak kearah manapun. Simulasi dijalankan selama tepat 1 menit, ukuran grid waktu dibuat konstan, namun ukuran grid waktu harus tetap memenuhi batas nilai CFL(Courant-Friedrichs-Lewy) demi menjamin kestabilan solusi yang diperoleh. Selama simulasi, total gaya yang bekerja pada kapal disimpan untuk setiap grid waktu. Simulasi dilakukan dengan memvariasikan kecepatan kapal. Kecepatan yang digunakan adalah 3,5,6, 7, dan 9 knot.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hambatan yang diperoleh menggunakan program OpenFOAM terbagi menjadi beberapa kontribusi yaitu dari hambatan *wave-making* dan hambatan viskos. Hambatan total diperoleh dengan menjumlahkan kedua kontribusi ini. Dikarenakan ada adanya efek transien yang tidak relevan dengan perhitungan hambatan, hambatan beberapa detik pertama diabaikan. Hasil perekaman hambatan yang diperoleh setiap waktu ditampilkan pada Gambar 4



Gambar 4. Runut Waktu Hambatan Kapal

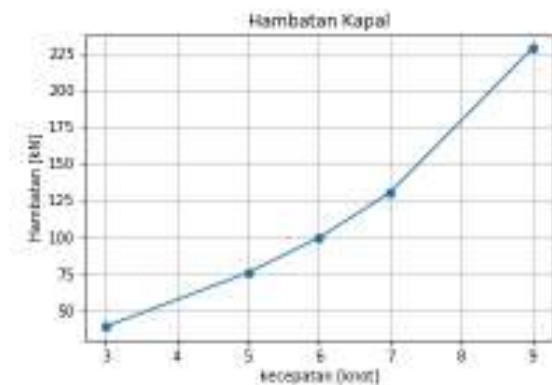
Untuk menentukan hambatan pada kapal, nilai hambatan tiap waktu dirata-ratakan, dengan mengabaikan hambatan diawal yang

merupakan efek impulse karena kapal tiba-tiba bergerak. Hambatan kapal disajikan dalam Tabel 2 dan diilustrasikan pada Gambar 5.

Secara intuitif, tren yang ditunjukkan dalam perhitungan hambatan ini dapat diterima, karena perubahan hambatan yang dihasilkan tidaklah linear dengan perubahan kecepatan yang terjadi. Tren pada hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan, maka semakin drastis perubahan hambatan yang dialami oleh kapal tongkang tersebut, begitupun sebaliknya.

Tabel 2. Hambatan Kapal Tongkang

Kecepatan [knots]	Hambatan [kN]
3	39.394
5	75.902
6	99.650
7	130.232
9	227.963



Gambar 5. Runut Waktu Hambatan Kapal

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Perangkat lunak OpenFOAM dapat digunakan untuk memprediksi hambatan kapal tongkang pada beberapa kecepatan. Ukuran grid di sekitar kapal harus cukup kecil untuk menangkap bentuk kapal serta fenomena-fenomena penting yang terjadi didekat kapal.

Meskipun hasilnya secara sekilas cukup memuaskan, perlu ada investigasi lebih lanjut untuk memastikan validitas dari hasil simulasi

ini. Demikian pula, waktu simulasi perlu diperpanjang untuk memastikan bahwa hasil yang diperoleh benar-benar stabil serta studi tentang konvergensi hasil yang diperoleh.

Penelitian lanjutan perlu dilaksanakan untuk mengintegrasikan hasil perhitungan hambatan pada kapal dengan model kendali pada kapal tanpa awak.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini didanai melalui skema Penelitian Dosen Pemula Institut Teknologi Kalimantan tahun 2019.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Liu, Y. Zhang, X. Yu, and C. Yuan, "Unmanned surface vehicles: An overview of developments and challenges," *Annu. Rev. Control*, vol. 41, pp. 71–93, 2016.
- [2] Z. Wang, Z. Zou, and C. Guedes Soares, *Identification of ship manoeuvring motion based on nu-support vector machine*, vol. 183. 2019.
- [3] C. R. Sonnenburg and C. A. Woolsey, "Modeling, Identification, and Control of an Unmanned Surface Vehicle," *J. F. Robot.*, vol. 30, no. 3, pp. 371–398, May 2013.
- [4] D. S. Hurtado Bustos and R. Paredes, *Numerical hull resistance calculation of a catamarán using OpenFOAM*, vol. 11. 2017.
- [5] O. el Moctar, S. Sigmund, J. Ley, and T. E. Schellin, "Numerical and Experimental Analysis of Added Resistance of Ships in Waves," *J. Offshore Mech. Arct. Eng.*, vol. 139, no. 1, pp. 11301–11309, Sep. 2016.
- [6] T. Holzmann, *Mathematics, Numerics, Derivations and OpenFOAM*, Fourth edi. Leoben: Holzmann CFD, 2017.
- [7] F. R. Menter, "Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications," *AIAA J.*, vol. 32, no. 8, pp. 1598–1605, Aug. 1994.