

**SIMULASI NUMERIK TAHANAN KAPAL GILLNET MENGGUNAKAN
PENDEKATAN *COMPUTATIONAL FLUIDS DYNAMICS***

Oleh:

Ronald Mangasi Hutaaruk

Jurusan Pemanfaatan Sumberdaya Perairan

Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan

Universitas Riau

Email: ronald.mhutaaruk@yahoo.co.id

ABSTRACT

A good designer of fishing vessels must be able to estimate ship resistances which treatment on ship during fishing operations. Such resistances information will be used as the milestones in the main and the auxiliary engine matching in which the chosen engine must be suitable to the needs of thrust at the certain velocity. The magnitude of ship resistance can be determined by some methods e.g. towing tank methods, using ship resistance graph of series ship models on various velocities, using approaching formula from statistic (with regression) and the last by using Computational Fluid Dynamics (CFD). CFD is the most economic in ship resistance study with result almost approaching the manual test. The ship was gillnetter 5 in gross tonnage. Its model was investigated by using numerical simulation of CFD. The data of resistance are processed with ANSYS CFX version 14. The result shows the vessel resistance was 6,43 kN and engine power was 29,76 kW at maximum speed (9 knots). It implies the similar conclusion by using manual test and approaching formula.

Key words: CFD, CFX, resistance, gilnetter, numerical simulation.

ABSTRAK

Seorang perencana kapal perikanan yang baik harus mampu memperkirakan tahanan kapal saat melakukan operasi penangkapan. Informasi tahanan tersebut akan digunakan sebagai acuan penentuan mesin utama dan bantu di mana mesin terpilih harus cocok dengan kebutuhan gaya dorong pada kecepatan tertentu. Besar tahanan kapal dapat ditentukan dengan beberapa metode perhitungan misalnya dengan menggunakan metode kolam tarik, menggunakan grafik tahanan dari beberapa seri model kapal pada berbagai kecepatan, menggunakan formula pendekatan berdasarkan statistik (regresi) dan terakhir dengan menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD). CFD merupakan metode perhitungan hambatan kapal yang paling ekonomis dengan hasil yang hampir mendekati perhitungan manual dan eksperimen. Kapal yang digunakan dalam penelitian ini adalah kapal gilnet berukuran 5 GT yang dikaji dengan menggunakan simulasi numerik melalui pendekatan CFD. Data tahanan diproses dengan menggunakan ANSYS CFX versi 14. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tahanan total kapal adalah 6,43 kN dengan daya mesin 29,76 kW pada kecepatan maksimum (9 knots). Ini menyiratkan bahwa diperoleh kesimpulan yang sama dengan menggunakan tes manual dan rumus pendekatan.

Kata kunci: CFD, CFX, tahanan, kapal gilnet, simulasi numerik.

I. PENDAHULUAN

Dalam merencanakan kapal, faktor umum yang memegang peranan penting adalah tahanan yang dialami oleh kapal tersebut saat beroperasi. Bentuk kapal agar tahanan kecil atau sekecil mungkin menjadi tujuan perencana kapal. Apabila tahanan kapal kecil maka pemakaian tenaga mesin juga menjadi lebih kecil. Daya mesin yang kecil akan menghemat penggunaan bahan bakar. Dengan demikian akan berpengaruh pada penambahan daya muat kapal (*fishing hold*) tersebut.

Hutauruk (2012) telah melakukan kajian tentang rancangan kapal gillnet dengan bentuk *hullform* yang optimum. Disarankan kajian tersebut dilanjutkan dengan melakukan simulasi numerik untuk memprediksi besar tahanan kapal dan kebutuhan dayanya. Simulasi numerik adalah proses pengujian besaran suatu model dengan menggunakan komputer. Simulasi numerik telah terbukti mampu menggantikan peran pengujian laboratorium menjadi pengujian virtual. Nilai yang dihasilkan melalui pengujian virtual tersebut sangat akurat bila keduanya dibandingkan (Das, 2011; Blackwell, 2011). Suatu program simulasi numerik yang paling umum digunakan untuk menganalisa aliran fluida adalah ANSYS CFX. Karena masalah hambatan juga berhubungan dengan aliran fluida, maka ANSYS CFX digunakan sebagai software CFD untuk menyelesaikan prediksi hambatan yang dialami oleh kapal gillnet sebagai objek penelitian. CFD (*Computational Fluid Dynamic*) merupakan ilmu sains penyelesaian numerik dinamika fluida selain pendekatan teori dan eksperimen murni. Berbagai kelebihan CFD antara lain meminimumkan waktu dan biaya dalam mendesain suatu produk bila proses desain tersebut dilakukan dengan uji eksperimen dengan akurasi tinggi. Selain itu CFD memiliki kemampuan sistem yang mampu mengendalikan percobaan yang sulit atau tidak mungkin dilakukan melalui eksperimen. CFD juga dikenal memiliki kemampuan untuk kasus-kasus di bawah kondisi berbahaya pada saat atau sesudah melewati titik kritis (misalnya studi keselamatan dan skenario kecelakaan). Dan yang paling utama, ketepatan CFD selalu terkontrol selama perancangan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk memperkirakan besar tahanan kapal gillnet dengan menggunakan simulasi numerik melalui pendekatan CFD. Dengan mengetahui

besar hambatan kapal yang dialami melalui simulasi numerik maka akan bermanfaat dalam menghitung besar mesin dan kebutuhan gaya dorong yang harus diatasi kapal saat melewati aliran fluida pada kecepatan tertentu.

II. METODOLOGI PENELITIAN

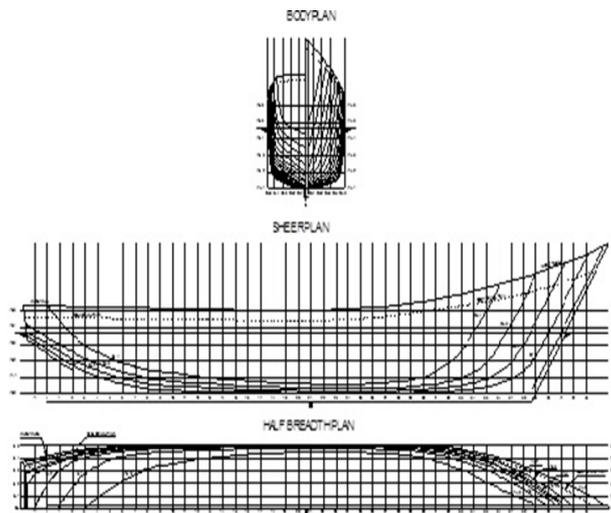
Penelitian telah dilakukan selama bulan Januari hingga Februari 2013 dengan mengambil data kapal hasil kajian terdahulu (Hutauruk, 2012 & 2011). Tempat penelitian adalah Laboratorium Kapal Perikanan, Jurusan Pemanfaatan Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Riau.

Metode yang dilakukan adalah simulasi numerik dengan menggunakan ANSYS CFX versi 14. Rencana garis kapal gillnet 5 GT akan digambar ulang dengan Maxsurf dan kemudian diekspor ke ICEM CFD (Gambar 1). ICEM CFD digunakan untuk melakukan proses pembagian elemen (*mesh*) pada model. Model akan dipartisi apabila model dalam kondisi tertutup. Pada proses ini akan dicek kondisi model supaya bisa dianalisa pada proses selanjutnya. Biasanya model hasil impor memiliki bentuk yang tidak tertutup saat dilakukan pemeriksaan dengan ICEM CFD. Sehingga pada ICEM CFD, model akan diperbaiki. Setelah pengecekan dan proses pembagian elemen model selesai, maka dilakukan proses *Test Set Up* untuk memberikan kondisi batas pada model CFX-Pre merupakan bagian ANSYS CFX untuk proses *set up*. Proses *set up* juga berfungsi untuk meminimalisasi error yang terjadi pada hasil akhir analisis tahanan. Setelah itu dilanjutkan pada tahap *Flow Solver (Solver Manager)*. Tahap ini berfungsi untuk menjalankan simulasi (*running*). Proses *running* akan berhenti jika hasil analisa sudah konvergen. Apabila data proses telah mencapai konvergen, maka hasil (output) simulasi tersebut dapat dilihat dalam *Post Processor (CFD Post)*. Selain menghasilkan simulasi tahanan, analisis numerik juga mampu menghitung besar gaya samping, gaya angkat, kecepatan, dan distribusi tekanan pada model uji.

Akurasi Simulasi dengan CFD. Ketepatan analisis dengan menggunakan CFD ditentukan oleh 3 faktor utama yaitu (1) konvergensi (2) *grid independence* dan (3) verifikasi. Konvergensi merupakan analisis kebenaran internal, tingkat kesalahan yang dirancang dipenuhi oleh model yang dikembangkan.

Hasil perhitungan pada tahap konvergensi diperoleh saat mencapai iterasi yang telah ditentukan oleh komputer. Dengan demikian tingkat konvergensi mengacu pada nilai yang dihasilkan oleh CFD Post ketika hasil perhitungan sudah diselesaikan secara sempurna.

Studi tentang *grid independence* diperlukan untuk memperoleh hasil yang lebih baik. *Grid independence* berhubungan dengan jumlah elemen yang dihasilkan pada proses pembagian elemen. Efisiensi pemakaian grid sangat diperlukan untuk proses pekerjaan yang lebih optimum. Jumlah elemen yang kecil akan memberikan hasil yang berbeda jika dibandingkan dengan jumlah elemen yang lebih banyak. Semakin banyak jumlah elemen, hasil yang akan diperoleh juga akan semakin tepat. Namun faktor ini akan menyebabkan pengerjaan akan menjadi lebih lama. Biasanya untuk kenaikan jumlah elemen harus diikuti dengan menggunakan spesifikasi komputer yang lebih tinggi.



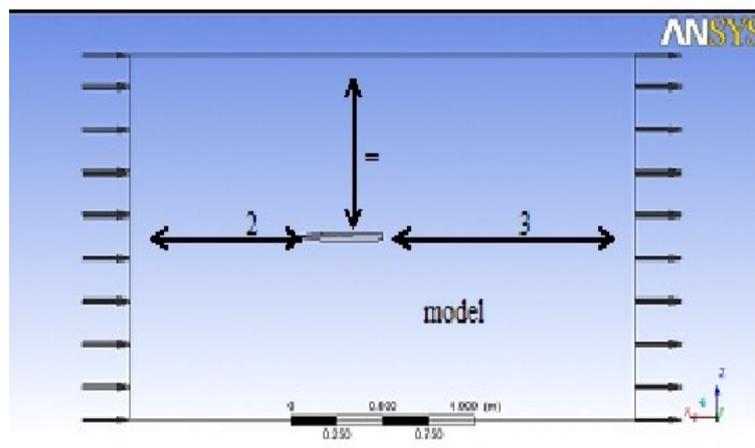
Gambar 1. Rencana garis kapal 5 GT untuk Kepulauan Aru

Pada simulasi numerik, proses kerja *grid independence* adalah dengan membuat variasi jumlah elemen terhadap hasil yang diberikan dalam CFD Post. Hasil tersebut misalnya berupa tahanan, gaya angkat, gaya normal dan sebagainya. Kemudian nilai tersebut dibandingkan, dan apabila terdapat selisih nilai $\leq 2\%$ maka jumlah elemen tersebut dapat digunakan untuk proses selanjutnya. Verifikasi merupakan langkah untuk membandingkan hasil CFD dengan data lain yang ada sehingga kebenaran hasil

simulasi numerik dapat diterima.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Ukuran antara model dengan domain fluida ditentukan berdasarkan informasi yang diberikan oleh Utama (1999). Menurut Utama (1999), kondisi optimum yang bekerja pada model pada keadaan aliran luar adalah (Gambar 2) jarak sisi depan (aliran masuk) terhadap model berkisar $2L - 3L$. Sedangkan jarak samping ke sisi model harus $\geq 2L$ dan jarak sisi belakang (aliran keluar) model berkisar $3L-5L$ (Gambar 2).



Gambar 2. Ukuran domain fluida

Kesimpulan yang sama juga diberikan oleh penelitian yang dilakukan oleh Dinham dkk (2008) untuk mengecek dan memastikan komponen hambatan lambung dengan menggunakan CFD. Simulasi yang dilakukan mendukung batasan yang diberikan Utama (1999). Model turbulensi yang digunakan adalah SST (*Shear Stress Transport*). Model turbulensi ini merupakan paling akurat dalam simulasi numerik aliran fluida (Menter, 1993). Model turbulensi SST telah dicek dalam sejumlah kajian terdahulu (Bardina et al. 1997; Swennberg, 2000) dan disimpulkan sebagai model yang paling akurat untuk berbagai aplikasi aliran.

Penentuan *Boundary Condition*. Pada simulasi numerik, fluida dibagi menjadi beberapa bagian. Hal ini menjadi penting karena akan mempermudah proses *meshing* dan pekerjaan dalam CFD Post misalnya menentukan tekanan di aliran masuk ataupun di aliran keluar. Ranah fluida terdiri dari *fluida* (udara), *inlet*, *outlet*, *model*, dan *wall*. Adapun kondisi batas pada masing masing bagian adalah sebagai berikut:

Fluida. Jenis domain adalah Fluida, material adalah udara pada 25°C. *Reference Pressure* adalah 1 atm dan semua tab *basic setting* dipertahankan mengikuti *default* awal (Mitchell dan Webb, 2008). Untuk *Fluid Models, heat transfer* yang digunakan adalah *isothermal* dengan temperatur fluida sebesar 30°C (sesuai dengan rata-rata suhu pengujian). *Reference pressure* dimasukkan 1 atm sesuai dengan kondisi tekanan udara luar. *Reference pressure* adalah merupakan data tekanan absolut dimana dari nilai ini, seluruh nilai tekanann yang lain diambil. CFX memecahkan tekanan statik yang terjadi dalam bidang aliran. Tekanan statik tersebut berhubungan dengan tekanan absolut yang dihitung dengan persamaan (1).

$$P_{abs} = P_{stat} + P_{ref} \dots\dots\dots(1)$$

Model turbulensi yang digunakan adalah SST. Model ini sudah dilakukan oleh berbagai penelitian yang berhubungan dengan fluida misalnya Menter (1993). Heat transfer digunakan untuk memprediksi temperatur melalui aliran fluida. Heat transfer menggunakan isothermal karena temperatur fluida yang dimasukan adalah uniform.

Model. Kondisi batas model adalah wall dengan boundary details sebagai No Slip Wall. Model diasumsikan merupakan dinding yang rata dengan kekasaran dinding yang smooth wall. No slip wall mengkondisikan bahwa tegangan geser pada model tidak sama dengan nol, sehingga menimbulkan perlambatan di permukaan model akibat gesekan yang terjadi.

Aliran masuk (inlet). Basic setting pada daerah inlet dipilih Subsonic pada Flow Regime. Pemilihan subsonic (kurang dari kecepatan suara) berdasarkan bilang Mach. Bila konstanta Mach. Turbulens yang digunakan adalah medium (Intensity =5%). Penggunaan medium 5% ini merupakan opsi yang disarankan untuk simulasi apabila informasi level turbulensi tidak diketahui secara detail (ANSYS, 2010).

Persamaan yang digunakan dalam komponen kartesian kecepatan ditentukan dengan resultan non zero pada domain dengan menggunakan persamaan (2).

$$U_{inlet} = U_{spec} i + V_{spec} j + W_{spec} k \dots\dots\dots(2)$$

Aliran keluar (Outlet). Flow Regime pada daerah outlet adalah subsonic dengan relative pressure diisi 0 dan data lain mengikuti default awal (Mitchell dan Webb, 2008). Ansys menyarankan bahwa ketika refence pressure diset 1 atm (100000 Pa), maka relative pressure harus diset 0, dan begitu sebaliknya, jika reference pressure diset 0, maka relative pressure harus diset 100000 Pa. Hal ini bertujuan untuk memberikan perubahan tekanan pada relative pressure yang nilai lebih kecil dibandingkan tekanan reference pressure (ANSYS, 2010). Selain itu, tekanan pada outlet diset sama dengan nol untuk memastikan tidak terjadi gangguan ke hulu (belakang) Mitchell & Webb, 2008).

Dinding (wall). Wall merupakan domain yang menutupi model. Kondisi batas wall adalah free slip wall. Untuk mengetahui perbedaan antara dinding dengan adanya gaya geser maka akan dibuat simulasi tambahan dengan kondisi batas no slip condition.

Pada keadaan no slip condition, maka persamaan yang diberikan adalah

$$U_{\text{wall}} = 0 \quad \dots\dots\dots(3)$$

Sedangkan pada keadaan *free slip condition*, maka persamaan yang diberikan adalah

$$\begin{aligned} U_{\text{wall}} &= 0 \\ t_{\text{wall}} &= 0 \dots\dots\dots(4) \end{aligned}$$

Simulasi Numerik Hambatan Kapal. Benda yang terapung atau tenggelam dalam suatu fluida ketika bergerak akan menerima gaya yang menahan gerak benda tersebut. Gaya yang dialami oleh benda tersebut adalah hambatan, yang sebenarnya merupakan gaya fluida yang bekerja pada benda sedemikian sehingga melawan gerakan benda tersebut (Harvald, 1983). Hambatan tersebut sama dengan komponen gaya fluida yang bekerja sejajar dengan sumbu gerakan kapal. *Resistance* merupakan istilah hambatan yang digunakan dalam dunia hidronamika, termasuk kapal. Sedangkan istilah hambatan untuk bidang aerodinamika adalah *drag*. Besar hambatan suatu kapal dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu luas permukaan basah, jenis fluida dan juga kecepatan kapal. Nilai hambatan kapal akan meningkat

apabila angka *Froude* mengalami kenaikan. Harvald (1983) memberikan contoh kurva koefisien hambatan yang dialami oleh kapal pada berbagai kondisi fluida. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa letak benda dan jenis fluida (mempengaruhi koefisien hambatan. Hambatan kapal dengan menggunakan simulasi numerik dihitung dengan memasukkan persamaan fluida dan kondisi batas persamaan 1 hingga 4. Akibat gabungan kondisi batas tersebut dengan aliran yang disimulasikan pada kapal maka gaya hambat timbul ke arah sumbu x (ke arah aliran fluida). Seperti diketahui bahwa kapal yang bergerak di media air dengan kecepatan tertentu, akan mengalami gaya hambat (tahanan atau *resistance*) yang berlawanan dengan arah gerak kapal tersebut. Besarnya hambatan kapal sangat dipengaruhi oleh kecepatan gerak kapal (V_s), berat air yang dipindahkan oleh badan kapal yang tercelup dalam air (*displacement*), dan bentuk badan kapal (*hull form*). Hambatan total dengan simulasi numerik merupakan total dari keseluruhan gaya yang bekerja melawan gerakan kapal. Nilainya didapatkan pada kondisi air tenang. Pendekatan ini diperlukan karena persamaan yang menyertainya lebih sederhana dibandingkan dengan pendekatan dengan kondisi mendekati sebenarnya. Besaran hambatan kapal dideskripsikan melalui koefisien non dimensional yang merupakan fungsi sebagai koefisien C_T yang dihitung dengan persamaan 5

$$C_T = \frac{R_T}{0.5\rho V_s^2 S} \Rightarrow \frac{\text{lb}}{\left(\frac{\text{lb}\cdot\text{s}^2}{\text{ft}^4}\right)\left(\frac{\text{ft}}{\text{s}}\right)^2 \text{ft}^2} \leftarrow \text{non - dimension}$$

C_T = Koefisien hambatan total pada air tenang

R_T = Besar hambatan total

r = Kerapatan fluida

V_s = Kecepatan kapal

S = Permukaan basah

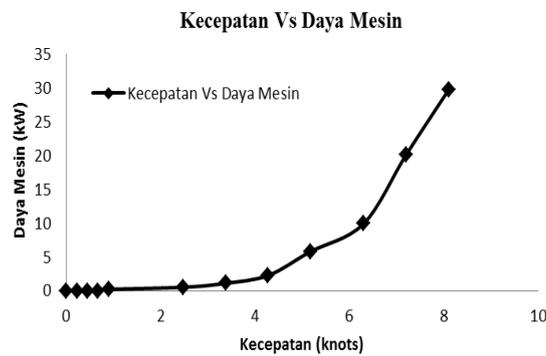
Besar hambatan total yang dihasilkan dengan simulasi numerik menunjukkan grafik parabola (Tabel 1 dan Gambar 3). Hal ini sesuai dengan teori dan berbagai eksperimen yang dilakukan di towing tank (Jamaludin, et al 2010). Kenaikan bilangan Froude menyebabkan peningkatan nilai hambatan.

Tabel 1. Besar hambatan kapal dengan menggunakan simulasi numerik

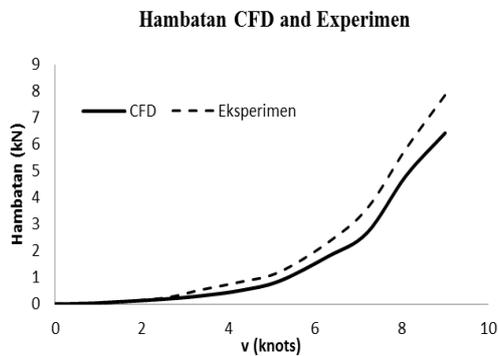
Kecepatan (knots)	Hambatan (F_x) kN	Power Mesin (kW)
0	-	-
0,23	0	0
0,45	0,01	0
0,68	0,02	0,01
0,90	0,03	0,01
2,48	0,18	0,22
3,38	0,31	0,54
4,28	0,51	1,13
5,17	0,86	2,29
6,30	1,79	5,80
7,20	2,68	9,94
8,10	4,83	20,14
9,00	6,43	29,76

Pada awal pengujian besar hambatan adalah nol, hal ini disebabkan oleh benda saat itu masih dalam posisi diam. Kemudian kecepatan dinaikkan dengan perbandingan tertentu hingga menghasilkan besar hambatan yang dialami oleh kapal. Pengujian diulang hingga terdapat berbagai variasi kecepatan dan diakhiri hingga kecepatan maksimum kapal. Hasil hambatan tersebut kemudian dikoversi menjadi besar kebutuhan besar mesin yang akan digunakan sebagai penentu kapasitas mesin utama yang dibutuhkan kapal. Gambar 3 merupakan grafik antara besar kecepatan dengan daya mesin yang dibutuhkan oleh kapal.

Perbandingan dengan riset terdahulu. Dibandingkan dengan data eksperimen di towing tank hasil riset yang dilakukan oleh Jamaluddin, et al (2010) terhadap kapal dengan ukuran utamanya 5 GT yang hampir sama ($\pm 2\%$), menunjukkan bahwa nilai hambatan dengan menggunakan CFD lebih kecil dibandingkan dengan pengujian di *towing tank* (Gambar 4). Ketika membandingkan suatu hasil uji eksperimen dengan simulasi numerik, maka kenyataan yang tidak bisa dihindari adalah bahwa hasil yang diberikan oleh uji eksperimen dengan simulasi numerik pasti menunjukkan perbedaan.



Gambar 3. Grafik kecepatan dengan daya mesin.



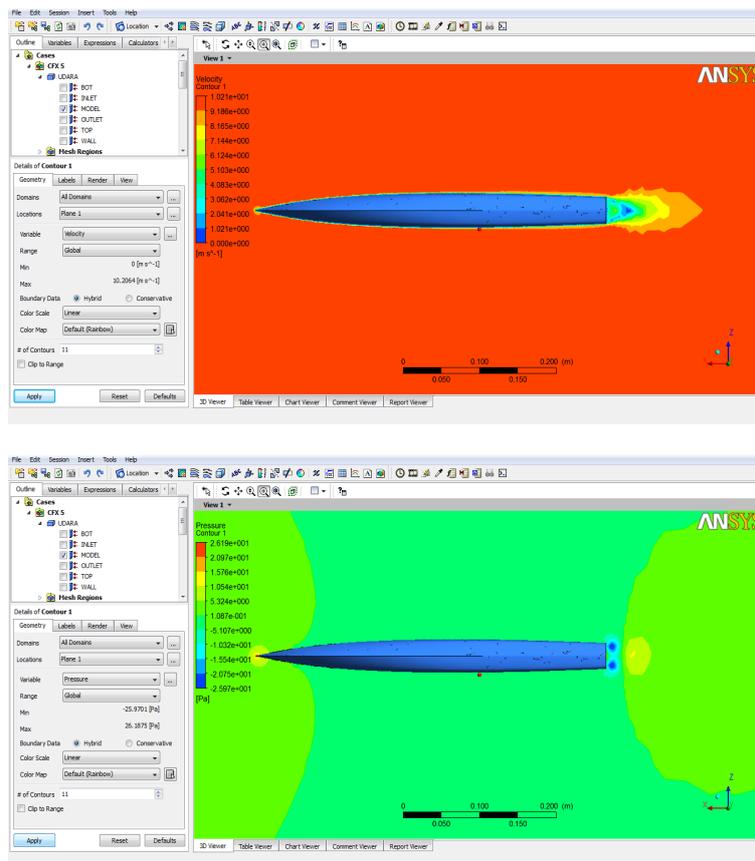
Gambar 4. Perbandingan besar hambatan dengan kajian terdahulu.

Apabila kedua hasil menunjukkan kecenderungan yang sama atau hampir sama dengan persentase perbedaan yang cukup kecil, maka hasil simulasi numerik dan eksperimen dapat diterima dan dipertanggungjawabkan. Perbedaan hasil yang diberikan oleh eksperimen dan model uji dipengaruhi faktor ketidakpastian (uncertainty factor) seperti simulasi numerik yang menggambarkan kondisi pengujian dengan menggunakan pendekatan empiris. Aliran pada pengujian/eksperimen tidak bisa dijamin semuanya uniform (CFD mengasumsikan aliran dalam test section adalah uniform) Selain itu faktor kekasaran model tidak diperhitungkan dalam simulasi numerik, dan juga faktor *test set up* pengujian dan lain-lain.

Rataan perbedaan besar hambatan total dengan menggunakan data eksperimen peneliti terdahulu menunjukkan bahwa hasil CFD berada di bawah 5%. Dengan demikian, hasil yang diberikan oleh eksperimen dan simulasi numerik hampir sama dan mendekati dengan persentase perbedaan masih wajar. Penelitian ini telah mewakili

pengujian tarik dalam kolam uji untuk mengetahui hambatan kapal, karena ketepatan data hambatan dengan CFD mendekati hasil eksperimen. Penelitian ini telah menghemat biaya uji di kolam tarik (towing tank) yang membutuhkan dana yang cukup besar.

Visualisasi kecepatan dan tekanan. Visualisasi kecepatan dan tekanan (Gambar 5) pada kapal sebagai pelengkap data simulasi numerik menunjukkan bahwa kecepatan di ujung-ujung benda slender yang dialiri fluida lebih rendah dibandingkan dibandingkan posisi lain. Kemudian pada visualisasi tekanan diperoleh bahwa tekanan di ujung-ujung benda slender tersebut lebih tinggi dibandingkan posisi yang lain. Ini sesuai dengan hukum yang diberikan oleh Bernoulli, bahwa tekanan dan kecepatan adalah berbanding terbalik. Apabila tekanan besar, maka kecepatannya harus rendah. Dengan demikian hasil simulasi numerik dapat dipertanggungjawabkan.



Gambar 5. Visualiasi simulasi numerik pada (1) kecepatan (2) Tekanan

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

CFD mampu menyelesaikan perhitungan hambatan kapal gilnet 5 GT dengan akurat. Besar hambatan yang dihasilkan adalah 6,43 kN dan besar daya mesinnya adalah 29,76 kW pada kecepatan maksimum (9 knots). Perbandingan hasil eksperimen di towing tank dengan CFD adalah sebesar 5%. Hasil CFD lebih kecil dibandingkan dengan kajian terdahulu.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Laboratorium Hidrodinamika Indonesia yang telah menyediakan data hambatan kapal serta seluruh karyawan yang membantu.

VI. DAFTAR PUSTAKA

ANSYS CFX Tutorials, 2010.

Bardina, J. E., Huang, P. G. & Coakley, T. J. (1997). *Turbulence Modelling, Validation, Testing and Development*, NASA Technical Memorandum 110446.

Blackwell, T. J. (2011). *Subsonic Wind-Tunnel Wall Corrections On A Wing With A Clark Y-14 Airfoil*. Ph. D thesis of The Faculty of the Department of Mechanical and Aerospace Engineering San Jose State University.

Das, K. K., Ghosh, A. K. & Sinhamahapatra, K. P. 2011. Experimental and Numerical Investigation of the Downburst wind profiles on different surfaces. IJEST. Vol: 3 No. 6

Dinham, T. A., Peren, Craddock, C., Lebas, A. & Ganguly, A. (2008). Use Of CFD For Hull Form And Appendage Design Assessment On An Offshore Patrol Vessel And The Identification Of A Wake Focussing Effect. RINA Marine CFD, 2008, Southampton, UK.

Harvald, S. A. (1983). Resistance and Propulsion of Ship. Airlangga University Press: Surabaya

Hutauruk, R. M. (2012). Desain Kapal Gilnet 5 GT untuk Kepulauan Aru dengan Konsep Keselamatan Yang Baik. Prosiding SENTA 2012. Surabaya: ITS. Pp 14-18.

Hutauruk, R. M (2011) Perancangan Tuna Longliner yang Efisien dan Optimum di Wilayah Perairan Bungus, Sumatera Barat. Prosiding SENTA 2011. Surabaya: ITS. Pp 23-30.

Jamaluddin, A., Utama, I. K. A.P. &. Aryawan, W. D. (2010). Analisa Eksperimen Viscous Form Factor pada Konfigurasi Lambung, Prosiding Seminar Nasional Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan, FTK-ITS, pp 17-24,

- Menter, F. R. (1993). Zonal Two Equation K-W Turbulence for Flows, AIAA Paper 93 - 106
- Mitchell, R. R. & Webb, M. B. (2008). A Study Of The Base Pressure Distribution Of A Slender Body Of Square Cross-Section. AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit. Pp 1-8.
- Swennberg, S. U. (2000). A Test Of Turbulence Models For Steady Flows Around Ships. Gothenburg,. Proc. Gothenburg, workshop on Num. Ship Hydro. Pp 26-34.
- Utama, I. K. A. P (1999). Investigation of the Viscous Resistance Components of Catamaran Forms. UK: University of Southampton.