



## STUDI PENGARUH VARIASI BENTUK *WAVE-PIERCING* TERHADAP HAMBATAN PADA KAPAL KATAMARAN UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI PEMAKAIAN BAHAN BAKAR

Gilang Andika Putra dan Arif Winarno  
Prodi Teknik Sistem Perkapalan Universitas Hang Tuah  
\*gilangandika832@gmail.com

### Abstrak

Variabel utama dalam meningkatkan efisiensi bahan bakar utama kapal adalah tahanan kapal yang dihasilkan oleh bentuk lambung kapal. perhitungan tahanan kapal dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan *software*. Penelitian ini bertujuan menentukan tahanan total kapal dan memperkirakan kebutuhan bahan bakar kapal katamaran. Desain lambung katamaran menggunakan katamaran simetris, desain yang sama dengan model kapal milik Jamaluddin dkk (2012) pada pengujian *towing tank*. Model yang didapatkan berikutnya dilakukan perhitungan tahanan kapal dan kebutuhan bahan bakar. Metode perhitungan tahanan kapal menggunakan metode holtrop. Hasil analisa tahanan kapal diperoleh dari beberapa variasi model *wave-piercing* untuk mendapatkan nilai tahanan yang lebih rendah sehingga akhirnya dicapai efisiensi penggunaan bahan bakar yang lebih optimal. Berdasarkan hasil analisa dan perhitungan menggunakan CFD, dari 3 variasi bentuk *wave-piercing* menunjukkan pengurangan hambatan 6,1% pada model MV6 dengan variasi  $fn$  0,19-0,65. Didapatkan model MV6 dengan nilai tahanan, konsumsi bahan bakar motor paling efisien diantara tipe *wave-piercing* yang lain.

**Kata Kunci:** Hambatan, Katamaran, *Wave-Piercing*, CFD

### Abstrct

*The main variable to increasing the ship's fuel efficiency is the ship's resistance generated by the hull shape. The calculation of ship resistance can be done with software. This study aims to determine the total resistance of the ship and estimate the fuel requirements of the catamaran. The catamaran hull design uses a symmetrical catamaran, the same design as the ship model of Jamaluddin et, al. (2012) in the towing tank test. The model obtained is then calculated for ship resistance and fuel requirements. The method of calculating ship resistance is using the Holtrop method. The results of the analysis of ship resistance are obtained from several variations of the wave-piercing model to get a lower resistance value so that more optimal fuel efficiency is achievable. Based on the analysis and calculations using CFD, from 3 variations of the wave-piercing shape, it shows a 6.1% reduction in resistance on the MV6 model with a variation of  $fn$  0.19-0.65. The MV6 model is obtained the resistance value, the most efficient motor fuel consumption of other wave-piercing types.*

**Keyword:** Resistance, Catamaran, *Wave-Piercing*, CFD

## 1. PENDAHULUAN

Era industri 4.0 yang sedang berlangsung saat ini turut memberi andil dalam industri perkapalan di Indonesia. Berbagai riset dan penelitian telah dilakukan dalam dunia perkapalan untuk mendapatkan desain lambung yang efisien dan bermanfaat bagi manusia di masa depan. Desain lambung yang baik akan mendapatkan keunggulan dari berbagai segi, salah satunya adalah unggul dalam segi hidrodinamika [1]. Desain lambung kapal harus meminimalisir nilai hambatan yang terjadi pada saat kapal beroperasi. Meminimalisir hambatan pada kapal dapat mengurangi kebutuhan daya mesin kapal yang digunakan sebagai pendorong pada kapal sehingga



copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

kecepatan kapal tercapai sesuai target yang diinginkan. Pemilihan motor dengan daya mesin yang kecil akan menekan penggunaan bahan bakar, operasional, dan biaya produksi kapal [2].

Jenis kapal yang umumnya sering dijumpai adalah kapal yang mempunyai lambung tunggal atau *monohull*. Pada kapal *monohull*, untuk mencapai kecepatan yang tinggi dengan efisiensi bahan bakar yang baik maka lambung kapal dibuat seramping mungkin untuk mengurangi tahanan gelombang, namun kekurangan dari ini adalah mengurangi stabilitas kapal. Oleh karena itu, dikembangkanlah rancangan model kapal *multihull*. Macam-macam dari kapal *multihull* adalah katamaran, *Small Waterplane Area Twin Hull (SWATH)*, Trimaran dan Pentamaran.

Katamaran merupakan kapal yang memiliki lambung ganda yang dihubungkan dengan struktur *bridging*. Bentuk lambung kapal dari katamaran mirip dengan *monohull* tetapi memiliki garis air yang lebih ramping sehingga tahanan yang dialami katamaran lebih kecil. Kelebihan kapal katamaran daripada *monohull* selain memiliki tahanan yang lebih kecil yaitu memiliki stabilitas yang lebih baik[3]. Saat ini beberapa kapal *monohull* telah didesain dengan menggunakan *wave-piercing* dalam usaha untuk meningkatkan performa. *Wave-piercing* merupakan bagian kapal yang terletak di bagian haluan kapal. Dengan penggunaan *wave-piercing*, maka akan berpengaruh terhadap aliran disekitar lambung kapal dan mengurangi *drag* yang memberikan peningkatan pada kecepatan dan efisiensi bahan bakar[4]. Dalam usaha ini maka dilakukan studi tentang pengaruh variasi bentuk *wave-piercing* terhadap hambatan pada kapal katamaran untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic (CFD)*.

## 2. METODE

*Computational Fluid Dynamic (CFD)* adalah suatu metode penyelesaian masalah berdasarkan pada persamaan fundamental dari dinamika fluida diantaranya kontinuitas, momentum dan persamaan energi. Metode ini digunakan secara luas untuk memberikan penyelesaian dari masalah secara eksperimen. Dalam pemodelan numerik, jika input data tidak dimasukkan dengan kondisi sebenarnya, maka digunakan parameter yang dapat merefleksikan kondisi sebenarnya. Pesatnya perkembangan kecepatan komputasi telah membuat penggunaan CFD sebagai alat untuk mendapatkan solusi dalam dunia penelitian dan rekayasa. Penggunaannya telah meliputi area yang luas pada industri dan aplikasi-aplikasi keilmuan [5].

Hambatan kapal berperan cukup penting dalam pemilihan sistem propulsi kapal. Maka dari itu, untuk memenuhi kebutuhan propulsif yang efisien, hambatan pada kapal harus diminimalisir. Pengurangan hambatan dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya adalah dengan membuat desain lambung kapal yang dapat memecah gelombang atau biasa dikenal dengan istilah *wave-piercing*.

Sebelumnya, model awal yang digunakan pada penelitian ini telah di uji di Laboratorium Hidrodinamika Indonesia (LHI) oleh [6]. Berikut ini merupakan data hasil pengujian *towing tank*:

Tabel 1. Nilai Hambatan Kapal Awal

Froude Number	R <sub>T</sub> (N)	R <sub>V</sub> (N)
0.19	0.841	0.789
0.28	2.273	1.626
0.37	4.210	2.724
0.46	9.118	4.074
0.56	10.982	5.645
0.65	12.308	7.455

### 2.1. Wave-Piercing

*Wave-Piercing Hull* merupakan jenis lambung yang memiliki bagian depan yang sangat halus, sehingga memiliki gaya apung yang sangat baik. *Wave-Piercing hull* umumnya diaplikasikan pada kapal katamaran untuk mengurangi hambatannya, karena kapal katamaran memiliki kecepatan di atas kapal konvensional.

*Wave-Piercing* sendiri terdiri atas banyak jenis, dan bisa diterapkan pada lambung tunggal, katamaran, hingga trimaran [7]. Pada penelitian ini, beberapa jenis *wave-piercing* akan dimodelkan dan disimulasikan oleh [8] menggunakan CFD untuk mencari jenis pemecah gelombang yang memiliki hambatan terkecil sehingga mempengaruhi efisiensi terhadap pemakaian bahan bakar. Pembuatan geometri kapal pada penelitian ini terdapat 4 model yang terdiri dari 1 model utama dan 3 model hasil modifikasi dengan penambahan *wave piercing* dengan variasi panjangnya 2%, 4% dan 6% Lwl. Untuk mempermudah penyebutan akan dibuat



copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

penamaan untuk keempat model yaitu model awal MA untuk model tanpa *wave piercing*, MV2 untuk model dengan penambahan *wave piercing* dengan panjang 2%  $L_{wl}$ , MV4 untuk model dengan penambahan *wave piercing* dengan panjang 4%  $L_{wl}$ , dan MV6 untuk model dengan penambahan *wave piercing* dengan panjang 6%  $L_{wl}$ .

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Data kapal

Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan [8] di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, yang dilaksanakan pada tahun 2018. Model yang digunakan sebagai referensi dan model awal penelitian ini, yang kemudian akan diterapkan variasi pada bentuk *wave-piercing* model tersebut. Berikut merupakan data kapal yang digunakan:

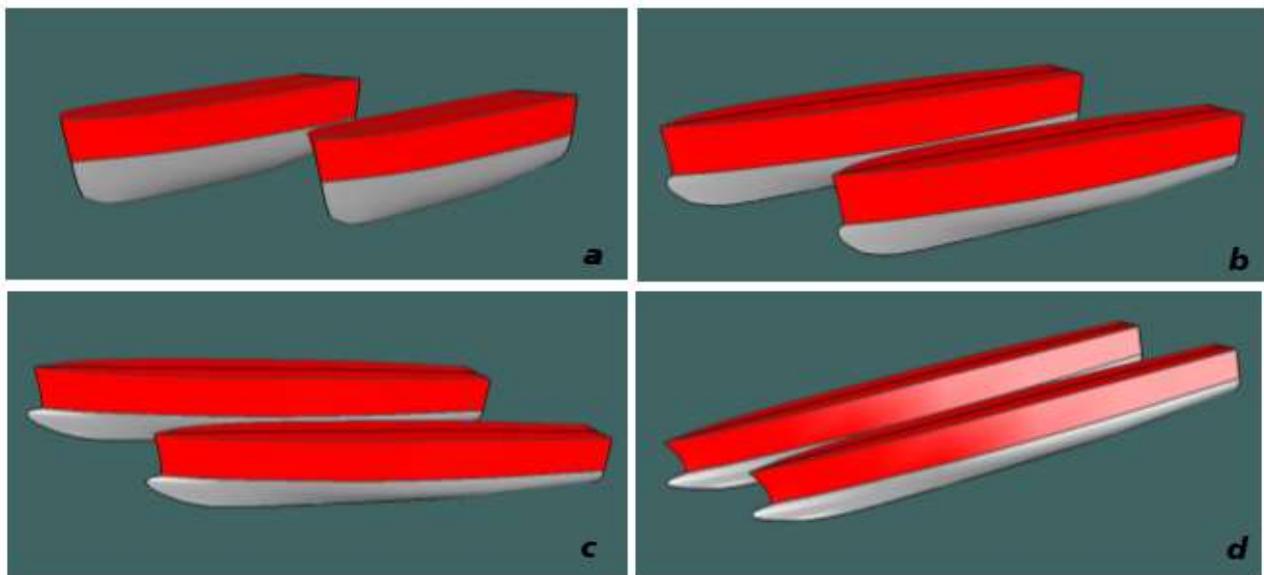
Tabel 2. Data Utama Kapal

No.	Dimensi	Nilai	Satuan
1.	$L_{wl}$	1.372	m
2.	Lebar	0.132	m
3.	Tinggi	0.178	m
4.	Sarat	0.078	m
5.	WSA	0.256	m <sup>2</sup>
6.	Volume	0.007	m <sup>3</sup>
7.	Displasemen	7.023	kg

Selain itu, menurut [8] juga didapatkan hasil simulasi CFD. Dari hasil analisa dan evaluasi menunjukkan bahwa antara hasil metode numerik dengan eksperimen memperlihatkan trend kurva yang hampir sama dengan perbedaan hasil yang sangat kecil. Presentase selisih nilai tertinggi dari kedua metode adalah 7.56% pada  $Fr = 0.37$ . Maka dapat disimpulkan bahwa nilai hambatan yang ditunjukkan oleh simulasi model kapal menggunakan simulasi CFD sudah sesuai.

#### 3.2. Model Kapal

Pada penelitian ini akan diterapkan 3 jenis variasi *wave-piercing* pada model awal kapal. Pada proses pemodelan, bentuk lambung utama kapal tidak dirubah, melainkan hanya merubah bentuk haluannya saja. Sehingga tidak mempengaruhi hidrostatis dan stabilitas awal kapal yang telah divalidasi sebelumnya.



Gambar 1. (a) s/d (d) berturut-turut: Model MA, Model MV2, Model MV4, dan Model MV6

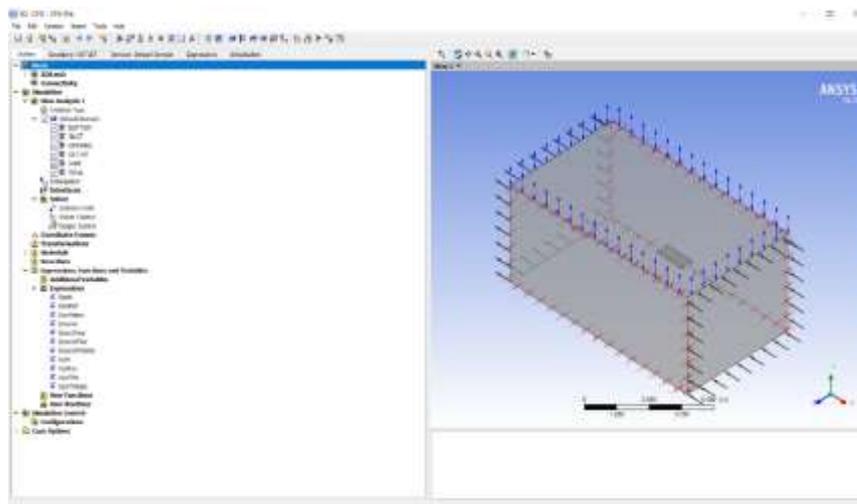
Pemodelan model 3D dengan menggunakan program *Maxsurf 11.1.12*, setelah model sudah solid kemudian pengerjaan analisa dilanjutkan di software CFD.

### 3.3. Simulasi CFD

Tahap proses simulasi CFD dimulai dengan pembuatan model kapal yang memvariasikan panjang *wave-piercing* dengan bentuk lambung utama yang sama, seperti yang dibahas sebelumnya ada 4 model katamaran yaitu model MA, MV2, MV4 dan MV6. Proses pembuatan model 3D dilakukan dengan bantuan *software* Maxsurf. Pemodelan yang sudah dilakukan sebelumnya akan dilakukan *remodelling* pada Ansys ICEM CFD. Model ulang ini diperlukan untuk menekan tingkat kecacatan pada model akibat seluruhnya tingkat *compatible* tersedia antara kedua perangkat lunak. Setelah itu proses simulasi CFD dapat dimulai.

Berikut uraian singkat langkah – langkah menurut [9] yang perlu dilakukan pada tahap simulasi CFD secara umum:

1. Pemodelan bentuk lambung dimulai dari katamaran simetris tanpa *wave-piercing* dan 3 model katamaran modifikasi menggunakan *wave-piercing* dilakukan di Maxsurf. Pemodelan dilakukan secara 3D, setelah model selesai kemudian diekspor ke dalam bentuk file *.iges*, yang sebelumnya format file Maxsurf adalah *.msd*. Ekspor file *.msd* menjadi *.iges* ini diperlukan agar file dapat diterjemahkan oleh Ansys ICEM.
2. *Pre processing* adalah tahap untuk memulai simulasi CFD-Ansys. Pada tahap ini dilakukan penyempurnaan model, seperti pembuatan *domain* dan *surface*. Selanjutnya, dilakukan penentuan kondisi batas pada *inlet*, *outlet*, *bottom*, *opening*, *wall*, *domain* fluida dan model kapal. Proses *meshing* juga dilakukan pada tahap ini.



Gambar 2. Tahap *Pre Processor*

3. *Solver Manager* dilakukan pada model kapal yang telah ditentukan kondisinya. Tahap ini merupakan tahap *running* atau perhitungan secara numerik dan kumpetasi yang sebenarnya menyerupai prinsip pengujian tarik pada *towing tank*.
4. *Post processing* analisis dan penggambaran hasil dilakukan pada tahap ini. Hasil yang didapat pada tahap ini setelah tahap sebelumnya selesai. Hasil yang didapatkan dibaca dan divisualisasikan seperti tekanan, kecepatan, aliran fluida *streamline* dan distribusi temperatur.
5. Validasi hasil

Diperlukan tahap validasi hasil untuk memastikan bahwa metode yang diterapkan pada model uji dengan semua kondisinya yang digunakan adalah benar. Hal ini berfungsi untuk menghindari kesalahan hasil pada saat simulasi model penelitian yang sebenarnya [10].

### 3.4. Perhitungan Hambatan Kapal

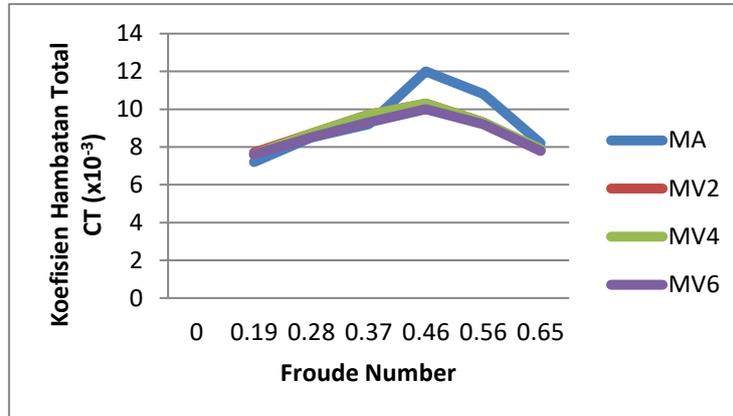
Perhitungan hambatan kapal dengan metode *Computational Fluid Dynamic* pada *post processor* (hasil *running*) diambil dari *tools utilities*> *force on boundaries* . Data yang diperlukan untuk menentukan hambatan total adalah koefisien hambatan total ( $C_T$ ), kemudian nilai dari ( $C_T$ ) tersebut diolah untuk memperoleh hambatan total ( $R_T$ ) dengan persamaan menurut [11]:



copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

$$R_T = 0,5 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot WSA \cdot C_t \quad (1)$$

Dimana  $R_T$  adalah hambatan total kapal (N),  $C_T$  koefisien hambatan total kapal,  $v$  adalah kecepatan kapal (m/s),  $\rho$  adalah massa jenis air laut ( $1025 \text{ kg/m}^3$ ) dan  $WSA$  adalah luas permukaan basah lambung kapal ( $\text{m}^2$ ). Berikut data dari model awal dan variasi *wave-piercing* yang dianalisis, Hasil koefisien hambatan total dari perhitungan rumus empiris hambatan yang didapatkan dari simulasi CFD dapat dilihat pada Gambar 3



Gambar 3. Koefisien Hambatan Total Hasil Simulasi CFD

Berikut data dari model awal dan variasi *wave-piercing* yang dianalisis, hasil simulasi pada kondisi kecepatan Fr 0.65 nilai  $C_t$  dan  $R_T$  untuk skala sebenarnya tiap-tiap model yang terdapat pada Tabel 3

Tabel 3. Nilai  $C_T$  dan  $R_T$  tiap-tiap model.

Model	$C_T(x10^{-3})$	$R_T$ (N)
MA	8,2	12,3
MV2	7,9	11,8
MV4	7,8	11,7
MV6	7,7	11,6

Dari tabel 3 diatas nilai hambatan pada model awal yaitu 12,3 N, sedangkan hambatan terkecil terjadi pada model MV6 yaitu sebesar 11,6 N, selisih nya 6,1 % lebih kecil daripada hambatan total model awal.

### 3.5. Perhitungan *Power* dan Pemilihan Mesin Induk

Setelah memperoleh nilai hambatan total ( $R_T$ ) langkah selanjutnya yaitu melakukan perhitungan *power* yang dibutuhkan untuk penggerak kapal. Nilai dan formula untuk menghitung *powering* menurut [12] dapat dilihat di bawah ini:

$$EHP = R_t \cdot V_s \quad (\text{watt}) \quad (2)$$

Dari EHP yang telah didapat kemudian dilakukan perhitungan DHP untuk mendapatkan nilai BHP yang akan digunakan untuk menentukan pemilihan motor induk.

Perhitungan daya *delivery* dari mesin induk menurut [12] adalah sebagai berikut:

$$DHP = \frac{EHP}{P_c} \quad (\text{HP}) \quad (3)$$

Setelah nilai DHP didapatkan, maka langkah selanjutnya adalah menghitung nilai BHP (*Break Horse Power*). Perhitungan BHP dapat dilakukan dengan formula menurut [13] sebagai berikut:

$$BHP = DHP + (x\% \cdot DHP) \quad (\text{HP}) \quad (4)$$

dimana:



copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

x% = koreksi daerah pelayaran [15%-20%]

Sehingga didapatkan Hasil Perhitungan Power untuk tiap-tiap model yang terdapat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai EHP DHP BHP tiap-tiap model.

Model	EHP	DHP	BHP
MA	2	3,03	3,48
MV2	1,92	2,9	3,33
MV4	1,88	2,84	3,26
MV6	1,86	2,81	3,23

Dari Tabel 4 diatas nilai BHP pada model awal yaitu 3,48 HP, sedangkan BHP terkecil terdapat pada model MV6 dengan 3,23 HP. Maka didapatkan spesifikasi mesin pada Tabel 5 dibawah ini

Tabel 5. Spesifikasi mesin

No	Vendor	Type	Daya	Voltage	Berat	Input Power
			(Hp)	(V)	(Kg)	(W)
1	Torqueedo	Cruise 2.0 R	5	24	15.989	2000
2	Torqueedo	Twin Cruise 2.0 R	10	24	31.978	4000
3	Torqueedo	Cruise 4.0 R	8	48	16.783	4000
4	Torqueedo	Twin Cruise 4.0 R	16	48	33.566	8000

Setelah didapat nilai BHP, maka langkah selanjutnya adalah melakukan pemilihan mesin induk sebagai penggerak utama kapal. Mesin induk yang dipakai pada kapal katamaran ini adalah mesin *outboard* karena mudahnya instalasi dan ukuran mesin yang relatif kecil sehingga tidak memakan tempat terlalu banyak. Pemilihan mesin induk dilakukan dengan mempertimbangkan berat mesin, daya mesin dan harga mesin tersebut. Dari katalog [14] didapatkan beberapa mesin induk beserta spesifikasinya. List mesin induk tersebut seperti terlihat pada Tabel 5.

Dari Tabel 5 dipilih mesin kapal *Torqueedo Twin Cruise 2.0 R* dengan pertimbangan dayanya mendekati. Mesin tersebut terlihat seperti Gambar 14 sebagai berikut:



Gambar 4. Mesin *Torqueedo Cruise 2.0 R*

### 3.6. Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar minyak khusus adalah ukuran massa bahan bakar yang dikonsumsi khusus per satuan waktu untuk menghasilkan per kW [15]. Efisiensi mesin laut biasanya ditentukan dengan menggunakan SFOC. Konsumsi bahan bakar dan tenaga yang dikembangkan harus selalu diukur per periode waktu yang sesuai



copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

dengan cuaca yang baik agar mendapatkan hasil dengan tingkat akurasi yang tinggi. Rumus yang digunakan untuk menghitung SFOC [16] sebagai berikut :

$$Whfo = SFOC \cdot BHPscr \cdot \text{Konstanta bahan bakar} \quad (L/H) \quad (5)$$

Sehingga didapatkan hasil whfo pada tiap-tiap model yang terdapat pada Tabel 6.

Tabel 6. Konsumsi bahan bakar tiap model

Model	Whfo
MA	5,4
MV2	2,98
MV4	2,92
MV6	2,89

Dari Tabel 6 diatas nilai Whfo pada model awal yaitu 5,4 L/H, sedangkan Whfo terkecil terdapat pada model MV6 dengan 2,89 L/H.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa dari penelitian ini, dapat diperoleh beberapa kesimpulan, yaitu dari hasil perhitungan *software CFD* dengan menggunakan metode holtrop, untuk model MA didapatkan tahanan kapal sebesar 12,3 N. Untuk model MV2 didapatkan tahanan kapal sebesar 11,8 N. Untuk model MV4 didapatkan tahanan kapal sebesar 11,7 N. Dan untuk model MV6 didapatkan tahanan total sebesar 11,6 N. Hasil perhitungan konsumsi bahan bakar model MA sebesar 5,4 L/H. Hasil perhitungan konsumsi bahan bakar model MV2 sebesar 2,98 L/H. Hasil perhitungan konsumsi bahan bakar model MV4 sebesar 2,92 L/H. Dan hasil perhitungan konsumsi bahan bakar model MV6 sebesar 2,89 L/H. Didapatkan model MV6 dengan nilai tahanan, konsumsi bahan bakar motor paling efisien diantara tipe *wave-piercing* yang lain.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. C. Rawson, K. J. and Tupper, *Basic Ship Theory*. 2001.
- [2] K. A. P. Utama and A. F. Molland, "Experimental and Numerical Investigations Into Catamaran Viscous Resistance," *FAST 2001 6th Int. Conf. Fast Sea Transp.*, no. September, 2001.
- [3] M. Bunari, "Studi Perbandingan Perencanaan Kapal Katamaran dan Monohull Sebagai Kapal Riset di Perairan Bengkalis Riau," *ITS, Surabaya.*, 2013.
- [4] P. Adi and Amiadji, "Analisa Penerapan Bulbous Bow pada Kapal Katamaran untuk Meningkatkan Efisiensi Pemakaian Bahan Bakar," *Pomits*, vol. 3, no. 1, p. F-13-F-18, 2013.
- [5] F. Tuakia, "Dasar - Dasar Menggunakan CFD : Computational Fluid Dynamics," *Bandung Inform.*, 2008.
- [6] W. D. Jamaluddin, A., Utama, I. K. A. P. and Aryawan, "Experimental Investigation Into The Drag Interference of Symmetrical and Asymmetrical Staggered and Unstaggered Catamarans.," *J. Ocean Technol.*, 2012.
- [7] A. H. Ridho, E. Julianto, and I. P. A. Wibawa, "Studi Pengaruh Variasi Bentuk Wave-Piercing Terhadap Hambatan Pada High Speed Craft (Hsc) Berlambung Katamaran Dengan Simulasi Computational Fluid Dynamics (Cfd)," *Proc. Conf. Mar. Eng. its Appl.*, vol. 3, no. 1, pp. 16–21, 2020.
- [8] A. H. Lillah, "Analisis Hambatan Penambahan Wave Piercing pada Kapal Katamaran Menggunakan CFD," *Surabaya Inst. Teknol. Sepuluh Nop.*, 2018.
- [9] CFX, "Ansys CFX Tutorials," *Ansys*, 2006.
- [10] G. 077. AIAA, "Guide for The Verification and Validation of Computational Fluid Dynamics Simulations," *NPARC*, 1998.
- [11] ITTC, "Practical Guidelines fo Ship Resistance CFD. Recommended Procedures and Guidelines," p. (pp. 1-10)., 2014.
- [12] Harvard, "Resistance and Propulsion Ship," p. 135, 1992.
- [13] S. A. Harvald, "Resistance and propulsion of Ship," *New York John Wiley Sons*, 1972.



copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

- [14] L. Cruise, “torqueedo Cruise 2.0 R,” 2014. .
- [15] A. Maruto Prijono, “Analisa Pengaruh Bulbous Bow Terhadap Tahanan Kapal.,” *Proceeding 1st Conf. Mech. Eng. its Appl.*, 2019.
- [16] P. W. Putra, H. Poernomo, and B. D. Alfanda, “Analisis Pengaruh Bulbous Bow Tipe  $\Delta$  , O , V Terhadap Tahanan Kapal , Konsumsi Bahan Bakar , Dan Rotasi Per Menit Motor Pada Kapal Dengan Lpp 160,7 M,” *Proceeding3rd Conf. Mar. Eng. Its Appl.*, 2020.

