



Analisa Pengaruh Penambahan *Integrated Stern Wedge-Flap* terhadap Hambatan Kapal dengan Metode *CFD*

Gilang Bayu Pangestu¹⁾, Deddy Chrismianto²⁾, Good Rindo³⁾

¹⁾Laboratorium Hidrodinamika

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*)}e-mail : gilangbayupangestu@gmail.com, deddychrismianto@yahoo.co.id, good.rindo@gmail.com

Abstrak

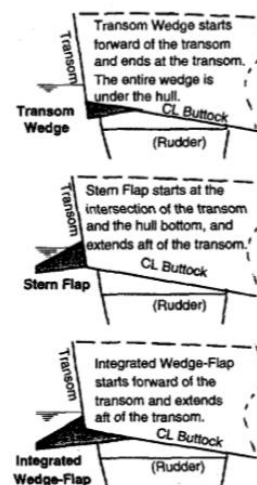
Hambatan kapal merupakan gaya yang arahnya berlawanan dengan arah laju kapal [1]. Kapal didesain sedemikian rupa sehingga meminimalisir gaya hambatannya. Modifikasi pada lambung kapal telah dilakukan sebelumnya untuk mengurangi gaya hambatan kapal, salah satunya penambahan *appendage* berupa *Integrated Stern Wedge-Flap*. Pada penelitian ini mengkaji tentang pengaruh penambahan *Integrated Stern Wedge-Flap* pada KRI Todak terhadap nilai hambatan kapal yang bertujuan untuk mendapatkan model variasi penambahan *Integrated Stern-Wedge Flap* yang mampu menurunkan nilai hambatan KRI Todak menjadi yang paling rendah nilainya. Penelitian ini dilakukan dengan cara menghitung dan menganalisa hambatan kapal dengan menggunakan program komputer berbasis *Computational Fluid Dynamics (CFD)*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dari sembilan model variasi seluruhnya mampu menurunkan nilai hambatan total KRI Todak dengan penambahan *Integrated Stern Wedge-Flap* yang memiliki sudut 7° dan panjang 1,4478 meter menjadi model terbaik karena mampu menurunkan nilai hambatan total KRI Todak hingga 6,53% pada kecepatan maksimum.

Kata Kunci : Hambatan Kapal, *Integrated Stern Wedge-Flap*, *Appendage*, *Computational Fluid Dynamics*.

1. PENDAHULUAN

Dalam perkembangan teknologi di bidang perkapalan, berbagai modifikasi pada lambung telah banyak diimplementasikan pada kapal untuk mendapatkan performa kapal yang paling optimal [2]. Salah satu dari modifikasi tersebut adalah penambahan *Integrated Stern Wedge-Flap*, dimana *Integrated Stern Wedge-Flap* merupakan suatu *appendage* pada bagian buritan kapal gabungan antara *Stern Wedge* dan *Stern Flap* [3]. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan pada kapal KRI Todak membuktikan bahwa penambahan *Stern Wedge* mampu mengurangi hambatan total kapal sebesar 5,47% [4] dan *Stern Flap* mampu mengurangi hambatan total kapal sebesar 2,24% [5]. Jika hambatan kapal mampu dikurangi maka tenaga yang dibutuhkan untuk mendorong kapal mencapai kecepatan yang direncanakan juga berkurang atau dengan tenaga yang sama kapal mampu berlayar lebih cepat [6]. Konsep dasar dari

Integrated Stern Wedge-Flap ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Konsep *Integrated Stern Wedge-Flap*

Prinsip kerja *Integrated Stern Wedge-Flap* pada kapal ialah dengan adanya *appendage*

tersebut maka kecepatan aliran air di bawah lambung berkurang, meningkatkan tekanan di bawah lambung dan mengurangi kehilangan energi akibat pembentukan gelombang [7]. Pada penelitian ini akan dilihat pengaruh panjang dan sudut *Integrated Stern Wedge-Flap* terhadap nilai hambatan pada kapal KRI Todak.

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah hanya menganalisa nilai hambatan akibat interaksi badan kapal dengan fluida air pada kapal KRI Todak (tanpa menganalisa nilai hambatan angin) sebelum dan setelah penambahan *Integrated Stern Wedge-Flap* dengan variasi geometri yaitu panjang dan sudut *Integrated Stern Wedge-Flap* serta analisa dilakukan pada kecepatan rendah (FN 0,22) dan kecepatan maksimum (FN 0,65) dari KRI Todak. Pada penelitian ini tidak melakukan uji towing tank.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan model variasi *Integrated Stern Wedge-Flap* yang mampu menurunkan nilai hambatan KRI Todak dan membuktikan bahwa *Integrated Stern Wedge-Flap* mampu mengurangi daya yang dibutuhkan untuk mencapai kecepatan yang direncanakan lebih baik dibandingkan dengan *Wedge Flap* atau *Stern Flap* yang bisa terlihat dari pengurangan hambatan totalnya [8]. Dengan tujuan penelitian tersebut diharapkan penelitian ini bermanfaat untuk pengembangan teknologi perkapalan khususnya dalam hal efisiensi *Ship Powering* dan *Fuel Consumption*.

2. METODE

Penelitian ini dilakukan dengan metode *Computational Fluid Dynamics* pada *software* berbasis *CFD*. Analisa dilakukan dengan asumsi kapal berlayar di perairan terbuka dan simulasi *steady state*. Permodelan kapal pada *software* berbasis *CFD* menggunakan acuan Bilangan Froude agar keakuratan hasil analisa sesuai dengan kapal skala aslinya. Dimana rumus Bilangan Froude adalah :

$$F_r = \frac{v}{\sqrt{gL}} \quad (1)$$

Dimana v merupakan kecepatan kapal dalam m/s, g adalah percepatan gravitasi bumi ($9,81 \text{ m/s}^2$) dan L adalah panjang kapal dalam meter.

Untuk permodelan kolam / *towing tank* mengacu pada prosedur yang direkomendasikan oleh ITTC dimana untuk *boundary inlet* sebesar $1-2 L_{pp}$ dan *boundary outlet* sebesar $3-5 L_{pp}$ [9]. Pada bidang tengah dimodelkan dengan bidang simetri dan model kapal sebagai *no-slip wall*.

Pada dasarnya hampir semua simulasi pada *Computational Fluid Dynamics* menggunakan persamaan *Navier-Stokes* untuk *Newtonian Fluids* [10]. Persamaan *Navier-Stokes* adalah sebagai berikut :

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla \vec{u} \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \vec{u} \quad (2)$$

2.1. Pengumpulan Data

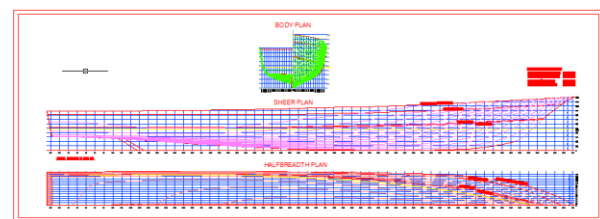
Data yang dibutuhkan untuk penelitian ini didapatkan dari data pada penelitian sebelumnya. Dimana didapatkan *Lines Plan* dan *Principal Dimension of the Ship*. KRI Todak merupakan kapal perang Republik Indonesia dalam seri *FPB-57 Nav V*. Hasil pengumpulan data dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengumpulan Data

<i>LWL</i>	54,40 meter
<i>B</i>	7,62 meter
<i>T</i>	2,33 meter
<i>H</i>	4,95 meter
Kecepatan Maksimum	29,6 knot
<i>Displacement</i>	352,5 ton

2.2. Desain Lines Plan

Kapal perang memiliki desain lambung yang sedemikian rupa sehingga mampu berlayar dengan kecepatan tinggi untuk memenuhi fungsi operasionalnya. KRI Todak memiliki rasio L/B 7,49 B/T 3,11 dan L/H 10,99. Gambar 2 menunjukkan *lines plan* dari KRI Todak.



Gambar 2. Desain Lines Plan

2.3. Parameter Penelitian

Dalam penelitian ini parameter yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Parameter Tetap :
Ukuran utama dari KRI Todak antara lain,
 - LWL* : 54,40 meter
 - Breadth* : 7,62 meter
 - Draft* : 2,33 meter
 - H* : 4,95 meter

- Parameter Peubah
 1. Panjang *Integrated Stern Wedge-Flap* (m)
 - a. 15% *B* (Lebar Kapal)
 - b. 17% *B* (Lebar Kapal)
 - c. 19% *B* (Lebar Kapal)
 2. Sudut *Integrated Stern Wedge-Flap* (°)
 - a. 5
 - b. 7
 - c. 9
 3. Kecepatan
 - a. *FN* 0,22
 - b. *FN* 0,65

. Tabel 2 menunjukkan data sembilan variasi *Integrated Stern Wedge-Flap*.

Tabel 2. Variasi *Integrated Stern Wedge-Flap*

Variasi	Sudut	Panjang
V1	5°	1,1430 m
V2	5°	1,2954 m
V3	5°	1,4478 m
V4	7°	1,1430 m
V5	7°	1,2954 m
V6	7°	1,4478 m
V7	9°	1,1430 m
V8	9°	1,2954 m
V9	9°	1,4478 m

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Permodelan KRI Todak dibuat berdasarkan *Lines Plan* yang sudah didapatkan. Model asli kapal (tanpa penambahan *integrated stern wedge-flap*) kemudian dianalisa hambatannya dengan menggunakan software berbasis *CFD*. Hasilnya divalidasikan dengan hasil analisa pada penelitian sebelumnya.

3.1. Hambatan

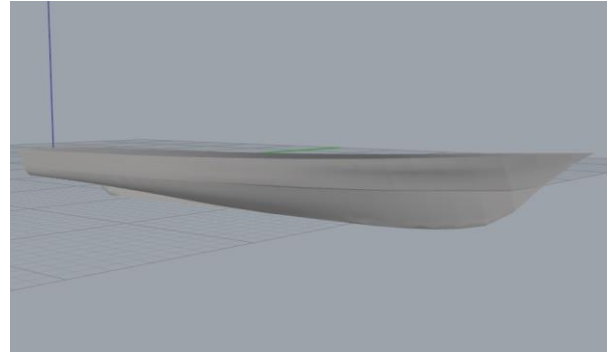
Hambatan kapal adalah gaya yang arahnya berlawanan dengan arah laju kapal pada kecepatan tertentu. Besarnya gaya hambatan sangat dipengaruhi oleh besarnya kecepatan dan bentuk lambung kapal tersebut [5]. Hambatan total kapal dapat ditentukan dengan persamaan :

$$R_t = \frac{1}{2} \rho C_t (WSA) v^2 \quad (3)$$

Untuk validasi model disamakan nilai C_t (koefisien hambatan total) model kapal KRI Todak pada penelitian ini dengan model kapal pada penelitian sebelumnya.

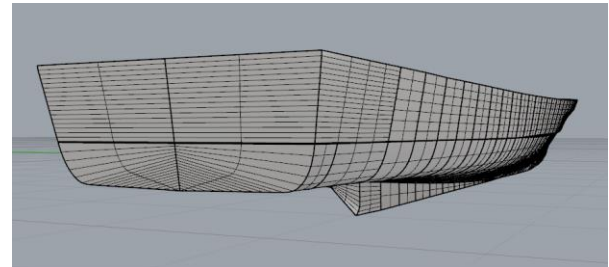
3.2. Tahap Modeling

Model KRI Todak dibuat pada software *Rhinoceros 5.0* kemudian di-export dalam format *.iges* untuk di-import pada software berbasis *CFD*. Skala model yang digunakan pada proses analisa adalah 1:100.

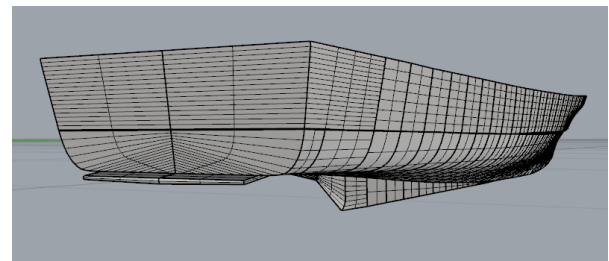


Gambar 3. Model Lambung KRI Todak

Kemudian untuk metode yang digunakan dalam variasi bentuk *Integrated Stern Wedge-Flap* adalah korespondensi satu-satu dari parameter yang digunakan. Skema korespondensi satu-satu untuk menghasilkan variasi menggunakan dua parameter, yaitu sudut dan panjang. Dari dua parameter tersebut divariasikan menjadi tiga macam sehingga menghasilkan sembilan jenis variasi model. Gambar 4 dan 5 menunjukkan model asli dan model variasi.



Gambar 4. Model tanpa *Integrated Stern Wedge-Flap*



Gambar 5. Model dengan *Integrated Stern Wedge-Flap*

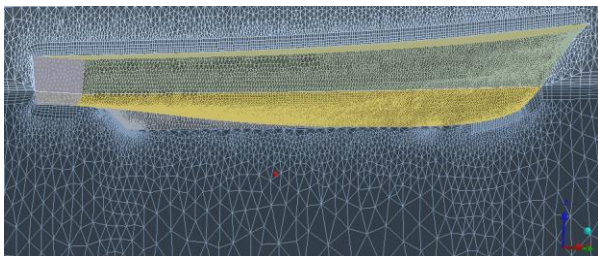
3.3. Simulasi *Computational Fluid Dynamics*

Langkah pada simulasi *CFD* dibagi menjadi beberapa tahapan antara lain :

1. *Geometry*
2. *Mesh*
3. *Setup*
4. *Solution*
5. *Result*

Tahap *Geometry* adalah tahap pembuatan model yang akan dianalisa. Berdasarkan penelitian sebelumnya, panjang model *towing tank* adalah 4 *LWL*, di depan haluan 1 *LWL*, di belakang buritan adalah 2 *LWL*.

Kemudian pada tahap *Meshing* menggunakan *CFX-Mesh* dengan jenis *meshing* berupa *tetrahedral*, *pyramid* dan *prism*. Pada tahap *Setup* adalah penentuan kondisi *domain* yang akan di-*running* pada tahap *Solution* dan hasilnya bisa kita lihat pada tahap *Result*.



Gambar 6. *Mesh Element*

Elemen *mesh* terdiri dari 238176 *nodes*, 490247 *tetrahedra*, 5322 *pyramids*, dan 278550 *prisms* dengan total elemen sebanyak 774121 elemen.

3.4. Validasi Hasil Penelitian dengan Penelitian sebelumnya

Pada penelitian ini divalidasi nilai C_t (koefisien hambatan total) dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan metode *Holtrop* untuk memastikan bahwa model yang dibuat sudah bisa mewakili model aslinya. Apabila model asli sudah masuk ke dalam *range* validasi yakni sebesar $\pm 5\%$ maka barulah bisa dilakukan variasi penambahan *Integrated Stern Wedge-Flap* pada model tersebut.

Tabel 3. Perbandingan nilai C_t *Holtrop* dan C_t *CFD*

Ket.	<i>Holtrop</i>	<i>CFD</i>	Selisih
C_t	0,012359	0,012428	0,56%

Berdasarkan data pada Tabel 3 selisih hasil C_t antara metode *Holtrop* dengan hasil *CFD* adalah 0,56 %.

3.5. Perhitungan Hambatan Kapal

Hasil perhitungan hambatan kapal dengan metode *Computational Fluid Dynamics* diambil dari tahap *Result*. Data yang diperlukan untuk menentukan hambatan total adalah nilai C_t . Kemudian dari data koefisien tersebut diolah sehingga mendapatkan nilai hambatan total kapal sebenarnya.

Tabel 4. Nilai pada C_t tiap-tiap model

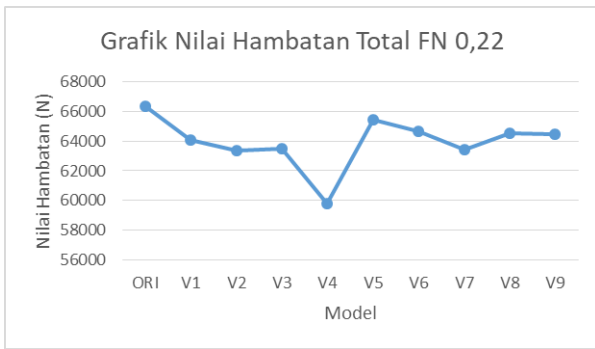
Model	<i>FN 0,22</i>	<i>FN 0,65</i>
Ori	0,0124282	0,0140621
V1	0,0118609	0,0137034
V2	0,0116965	0,0131757
V3	0,0116677	0,0129637
V4	0,0110686	0,0131581
V5	0,0120721	0,0135165
V6	0,0118906	0,0128985
V7	0,0117402	0,0134725
V8	0,0119048	0,0132975
V9	0,0118551	0,0131174

Koefisien hambatan total pada *FN 0,22* paling kecil terdapat pada model V4 sebesar 0,0110686 sedangkan koefisien hambatan total pada *FN 0,65* paling kecil terdapat pada model V6 sebesar 0,0128985. Dengan menggunakan persamaan hambatan total, kemudian didapat nilai hambatan total KRI Todak dengan skala 1:1.

3.5.1. Hambatan total KRI Todak *FN 0,22*

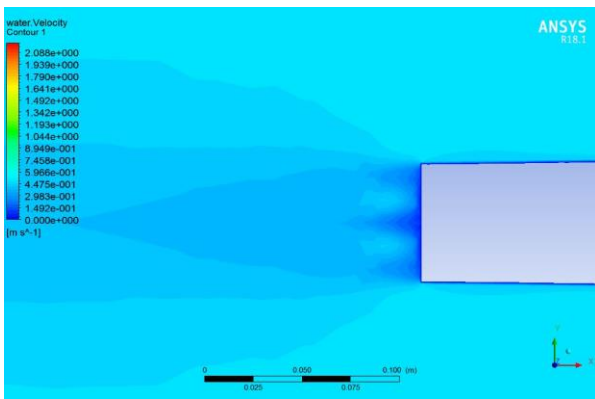
Tabel 5. Nilai hambatan total kapal pada *FN 0,22*

No	Model	<i>WSA (m)</i>	<i>RT (N)</i>
1	Ori	403,129	66322,27
2	V1	407,941	64050,44
3	V2	409,291	63371,69
4	V3	410,907	63465,24
5	V4	408,081	59792,43
6	V5	409,438	65430,18
7	V6	410,795	64660,05
8	V7	408,228	63443,25
9	V8	409,592	64547,69
10	V9	410,955	64492,12

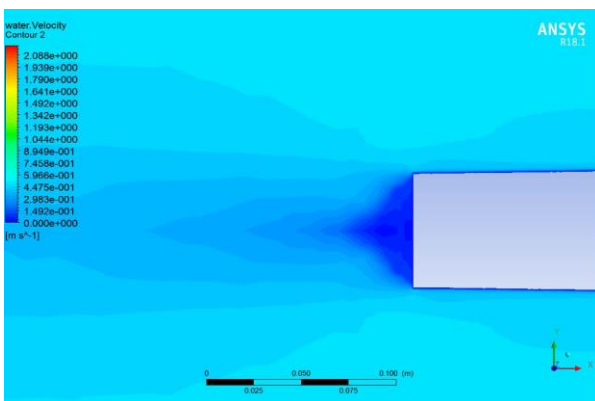


Gambar 7. Grafik Nilai Hambatan Total $FN 0,22$

Dapat dilihat dari Tabel 5 hasil simulasi *CFD* menunjukkan nilai hambatan total kapal asli pada $FN 0,22$ adalah sebesar 66322,27 N, sedangkan nilai hambatan total terkecil adalah pada model V4 yaitu sebesar 59792,43 N.



Gambar 8. Kontur Kecepatan Aliran Model Asli di Area Buritan pada $FN 0,22$



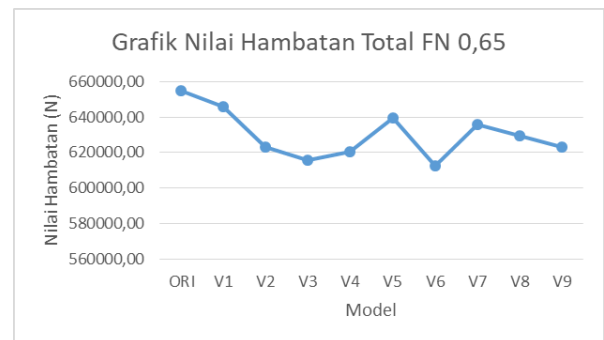
Gambar 9. Kontur Kecepatan Aliran Model V4 di Area Buritan pada $FN 0,22$

Berdasarkan Gambar 8 dan 9 dapat dilihat perbedaan kontur dari kecepatan aliran di bagian belakang kapal sebelum dan sesudah penambahan *Integrated Stern Wedge-Flap* pada $FN 0,22$.

3.5.2 Hambatan total KRI Todak $FN 0,65$

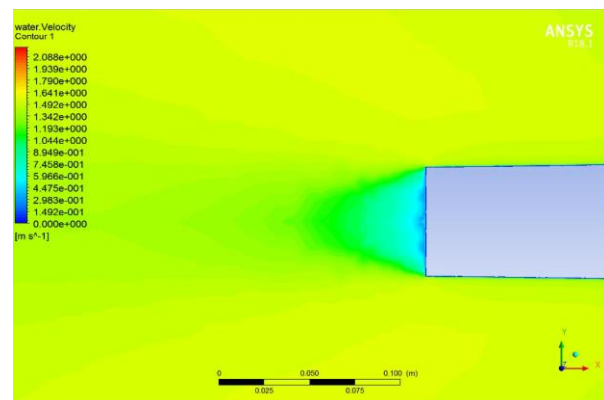
Tabel 6. Nilai hambatan total kapal pada $FN 0,65$

No	Model	WSA (m)	RT (N)
1	Ori	403,129	655062,46
2	V1	407,941	645973,73
3	V2	409,291	623153,56
4	V3	410,907	615547,69
5	V4	408,081	620480,37
6	V5	409,438	639501,50
7	V6	410,795	612284,91
8	V7	408,228	635535,00
9	V8	409,592	629376,68
10	V9	410,955	622917,48

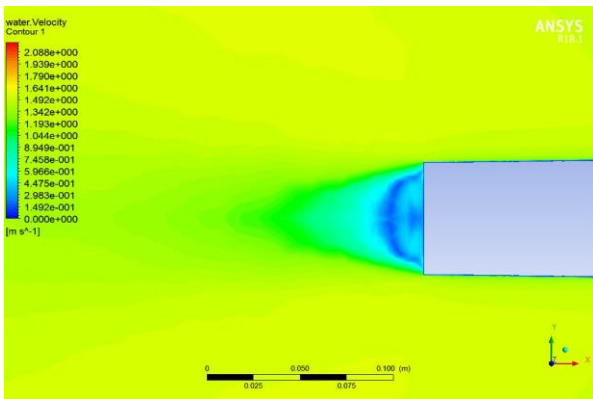


Gambar 10. Grafik Nilai Hambatan Total $FN 0,65$

Dapat dilihat dari Tabel 6. Hasil simulasi *CFD* menunjukkan nilai hambatan total kapal asli pada $FN 0,65$ adalah sebesar 655062 N, sedangkan nilai hambatan total terkecil adalah pada model V6 yaitu sebesar 612284 N.



Gambar 11. Kontur Kecepatan Aliran Model Asli di Area buritan pada $FN 0,65$



Gambar 12. Kontur Kecepatan Aliran Model V6 di Area buritan pada $FN 0,65$

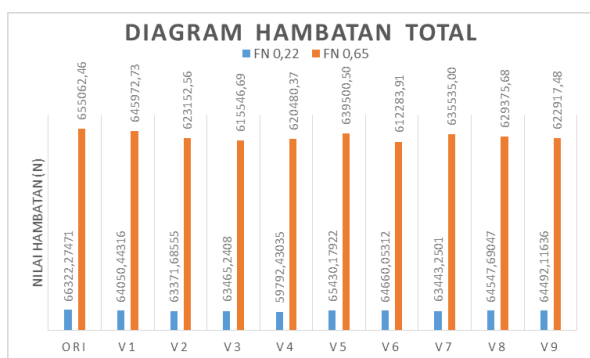
Berdasarkan Gambar 11 dan 12 dapat dilihat perbedaan kontur dari kecepatan aliran di bagian belakang kapal sebelum dan sesudah penambahan *Integrated Stern Wedge-Flap* pada $FN 0,22$.

3.5.3. Hambatan total KRI Todak seluruh FN

Berdasarkan hasil simulasi maka didapatkan perbandingan nilai hambatan total semua model pada $FN 0,22$ dan $FN 0,65$.

Tabel 7. Nilai hambatan RT (N) kapal pada seluruh FN

No	Model	$FN 0,22$	$FN 0,65$
1	Ori	66322,27	655062,46
2	V1	64050,44	645973,73
3	V2	63371,69	623153,56
4	V3	63465,24	615547,69
5	V4	59792,43	620480,37
6	V5	65430,18	639501,50
7	V6	64660,05	612284,91
8	V7	63443,25	635535,00
9	V8	64547,69	629376,68
10	V9	64492,12	622917,48



Gambar 13. Diagram Hambatan Total seluruh FN

Dari tabel 7 dapat dilihat bahwa hambatan total seluruh model dengan penambahan *Integrated*

Stern Wedge Flap lebih kecil dari model asli dan pada kecepatan maksimum atau pada $FN 0,65$ model V6 memiliki nilai hambatan total terkecil dengan nilai hambatan total 612284,91 N, sedangkan pada $FN 0,22$ model V6 memiliki nilai hambatan total sebesar 64660,05 N. Jika dibandingkan dengan model asli nilai hambatan total pada model V6 mengalami penurunan pada $FN 0,22$ dan $FN 0,65$ secara berurutan sebesar 2,51% dan 6,53%. Berdasarkan hasil simulasi tersebut maka model V6 dengan sudut 7° dan panjang 1,4478 meter menjadi model variasi paling baik diantara model variasi lainnya. Diagram perbandingan nilai hambatan total pada model asli dengan model setelah penambahan *Integrated Stern Wedge Flap* pada $FN 0,22$ dan $FN 0,65$ dapat dilihat pada Gambar 13.

3.5.4. Perbandingan Tiap Hambatan Model Asli dengan model V6

Tabel 10. Nilai hambatan RT (N) model asli dengan model V6

No	Model	$FN 0,22$	$FN 0,65$
1	Ori	66322,27	655062,46
2	V6	64660,05	612284,91

Hasil pada tabel 10 menunjukkan bahwa model V6 pada kecepatan rendah ($FN 0,22$) mampu mengurangi hambatan total 2,51%, sedangkan pada kecepatan tinggi ($FN 0,65$) mampu mengurangi hambatan total sebesar 6,53%. Hasil ini menunjukkan bahwa nilai hambatan total KRI Todak mengalami penurunan akibat penambahan *Integrated Stern Wedge-Flap*. Hal tersebut sesuai dengan teori hambatan kapal dan teori mengenai kemampuan *Integrated Stern Wedge-Flap* yang mampu mengurangi energi yang terbuang akibat pembentukan gelombang [7].

3.5.5. Persentase Penurunan Hambatan Total antara *Integrated Stern Wedge-Flap*, *Stern Wedge*, dan *Stern Flap*

Tabel 13. Perbandingan penurunan hambatan total dengan hasil penelitian sebelumnya

No	Model	$FN 0,22$	$FN 0,65$
1	<i>Integrated Stern Wedge-Flap</i>	2,51%	6,53%
2	<i>Stern Wedge</i>	1,02%	5,47%
3	<i>Stern Flap</i>	2,53%	1,95%

Dapat dilihat dari Tabel 13 berdasarkan persentase penurunan nilai hambatan total maka penulis merekomendasikan *Integrated Stern Wedge-Flap* dibandingkan dengan *Stern Wedge* atau *Stern Flap* sendiri.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari perhitungan dan simulasi *CFD* didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Seluruh model variasi penambahan *Integrated Stern Wedge-Flap* pada KRI Todak mampu mengurangi nilai hambatan total dengan model V6 yang memiliki panjang *Integrated Stern Wedge-Flap* 1,4478 meter dan sudut 7° sebagai model terbaik yang mampu mengurangi hambatan total pada KRI Todak hingga 6,53% pada kecepatan maksimum (*FN* 0,65).
2. Sudut 7° menjadi sudut yang paling optimal dikarenakan model variasi yang mampu menurunkan nilai hambatan total menjadi paling kecil adalah model V4 dan V6 yang memiliki sudut kemiringan sebesar 7°. Untuk kecepatan rendah ukuran *Integrated Stern Wedge-Flap* yang lebih pendek (V4 dengan panjang 1,1430 m) yang menghasilkan hambatan total terkecil, namun untuk kecepatan tinggi ukuran *Integrated Stern Wedge-Flap* yang lebih panjang (V6 dengan panjang 1,4478 m) yang menghasilkan hambatan total terkecil.
3. *Integrated Stern Wedge-Flap* mampu menjadikan nilai hambatan total KRI Todak lebih kecil pada kecepatan tinggi (*FN* 0,65) dibanding dengan *Stern Wedge* atau *Stern Flap* sendiri sesuai dengan teori yang tertera pada penelitian sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. F. Molland, S. R. Turnock, and D. A. Hudson, *Ship Resistance and Propulsion*. 2011.
- [2] D. P. Putra, A. Trimulyono, and E. S. Hadi, "Analisa Pengaruh Pemasangan Energy Saving Device (ESD) Propeller Boss Cap Fins (PBCF) dan Kort Nozzle Pada Propeller Type B-Series dan Propeller Type AU Terhadap Gaya Dorong Propeller dengan Metode CFD," vol. 3, no. 4, pp. 405–417, 2015.
- [3] D. S. Cusanelli, "Scaling Effects on Stern Flap Performance Progress Report," 2009.
- [4] A. D. Alfian, D. Chrismianto, and E. S. Hadi, "Analisa Hambatan Akibat Penambahan Stern Wedge Pada KRI Todak Menggunakan Metode CFD (Computational Fluid Dynamics)," vol. 4, no. 4, pp. 779–786, 2016.
- [5] J. Harumbinang, D. Chrismianto, and E. S. Hadi, "Analisa Hambatan Akibat Penambahan Stern Flap Pada Kapal KRI Todak Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD)," vol. 4, no. 4, pp. 758–767, 2016.
- [6] S. Volume, "Numerical Application to Predict the Resistance and Wave Pattern of KRISO Container Ship," vol. 67, no. 2, pp. 47–65, 2016.
- [7] G. Karafiath, D. S. Cusanelli, and C. W. Lin, "Stern wedges and stern flaps for improved powering—US Navy experience," *Trans. - Soc. Nav. Archit. Mar. Eng.*, vol. 107, pp. 67–99, 1999.
- [8] D. S. Cusanelli, "Stern flaps - A chronicle of success at sea (1989-2002)," *SNAME Innov. Mar. Transp.*, no. M, pp. 1–16, 2002.
- [9] F. F. Yuliansyah *et al.*, "Analisa Hambatan Total Dan Lift Force Pada Kapal," vol. 02, no. 04, pp. 49–57, 2014.
- [10] C. Mechanics and C. Equation, "Fluid Dynamics : The Navier-Stokes Equations Derivation of the Navier-Stokes Equations," vol. d, pp. 1–7, 1822.