

ANALISA HAMBATAN AKIBAT PENAMBAHAN *STERN WEDGE* PADA KRI TODAK MENGGUNAKAN METODE CFD (*COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC*)

Abi Dimas Alfian¹, Deddy Chrismianto¹, Eko Sasmito Hadi¹

¹)Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email : abidimas20011@yahoo.co.id, deddychrismianto@yahoo.co.id

Abstrak

Sudut *stern wedge* memegang peranan penting dalam menentukan performa hidrodinamika kapal khususnya dalam hal hambatan. Hambatan merupakan faktor penting yang perlu dipertimbangkan dalam perancangan sebuah kapal. Dalam membuat kapal perang dengan kriteria senyap diperlukan *stern wedge* yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan *stern wedge* kapal perang terbaik yang mempunyai performa hidrodinamis optimal yaitu mendapatkan hambatan total yang paling kecil sehingga memenuhi kriteria sangat senyap. Penelitian dilakukan dengan cara menganalisa dan menghitung hambatan total kapal menggunakan program computer berbasis CFD. CFD (*Computational Fluid Dynamic*) adalah ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, dan reaksi kimia dengan menyelesaikan persamaan matematika/numerik dinamika fluida. Berdasarkan hasil analisa dan perhitungan menggunakan CFD dari 16 model variasi *stern wedge* kapal perang didapatkan 7 model dengan hambatan total lebih kecil dari hambatan total model aslinya, pada Fn 0,22 yaitu model A, pada Fn 0,44 yaitu model A, pada Fn 0,55 yaitu model A dan B dan pada Fn 0,65 yaitu model A, model B dan model C. Kesimpulannya, dari 16 model tersebut didapatkan bentuk *stern wedge* terbaik yang memiliki hambatan paling kecil yaitu model A.

Kata kunci : *Stern wedge*, hambatan total, kapal perang, Fn, CFD.

Abstract

Angle of the stern wedge holds an important role in determining hydrodynamics performance particularly in terms of resistance. Resistance is an important factor to consider in the ship design. In making a warship with silent criteria required a good stern wedge angle. This study aims to obtain the best stern wedge vessel's that have optimal hydrodynamic performance, ie achieving the smallest total resistance that meets the very silent criteria. The study was conducted by analyzing and calculating the total resistance vessels using CFD-based computer program. CFD (Computational Fluid Dynamics) is the study of how to predict fluid flow, heat transfer, and chemical reactions by solving math equations / numerical fluid dynamics. Based on the analysis and calculations using the CFD. From 16 variation models of warship's stern wedge obtained 7 models with total resistance with smaller than the total original model, at Fn 0,22 there is model A, at Fn 0,44 there is model A, at Fn 0,55 there are model A and B and at Fn 0,65 there are model A, model B and model C. In conclusion, from the 16 the models obtained the best stern wedge shape that has the least resistance that is model A.

Keywords: *Stern wedge*, total resistance, warship, Fn, CFD.

1. PENDAHULUAN

Kapal perang Indonesia atau biasa disingkat dengan sebutan KRI, merupakan jenis kapal yang diharapkan memiliki beberapa performa yang dapat menunjang operasionalnya di bidang pertahanan dan keamanan, diantaranya adalah kecepatan yang tinggi, sistem persenjataan yang mumpuni, dan tingkat keandalan ataupun ketersediaan yang tinggi. Ketiga hal tersebut harus terdapat pada setiap

kapal perang karena apabila kapal tersebut dilengkapi dengan persenjataan yang lengkap dan kuat namun tidak ditunjang dengan kecepatan yang tinggi maka akan mengurangi kapabilitasnya sebagai kapal perang.

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini permasalahan akan dibatasi antara lain hanya menganalisa hambatan, tidak ada analisa ekonomis dari komparasi *stern wedge*, pengkajian bentuk *stern wedge* yang dianalisis

dengan melakukan modifikasi sudut dari *stern wedge*, penambahan *stern wedge* ini dilakukan pada KRI Todak, tidak memperhitungkan hambatan angin dan udara, tidak melakukan pengujian towing tank, analisa dan pengolahan data menggunakan *software* berbasis CFD, hasil akhir dari tugas akhir ini adalah hambatan badan kapal terhadap fluida air dan mensimulasikan hasil analisis dengan *software* ANSYS CFD

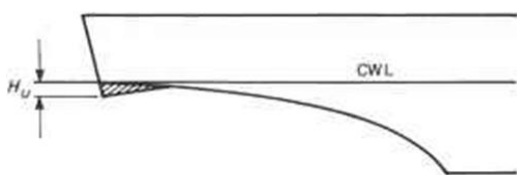
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 KRI Todak

KRI Todak (631) merupakan kapal pertama dari kapal perang jenis Kapal patroli cepat kelas Todak milik TNI AL. Dinamai menurut nama ikan Todak. Bertugas sebagai armada patroli cepat yang beroperasi di laut dangkal, dan sebagai kapal perang anti kapal permukaan. Termasuk dalam kelas Todak antara lain KRI Hiu (634) dan KRI Layang (805) dan KRI Lemadang (632) [1]

2.2 Stern Wedge

Stern wedge dipasang pada ujung dari buritan kapal, tepat di bawah transom. Prinsip pokok yang mendasari pemasangan *stern wedge* adalah untuk memperbaiki aliran air yang terjadi dibagian buritan kapal sehingga nantinya berpengaruh terhadap efisiensi sistem propulsi. [2]. *Stern wedge* mempunyai sudut relatif $0^\circ, 4^\circ, 7^\circ$ dan 10° terhadap permukaan lambung dan panjangnya 2% LPP [3]



Gambar 1 Ukuran utama dan parametrik *stern wedge* pada kapal

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian

Data Primer

Berikut data utama ukuran KRI Todak:

- *Length (m)* : 54,42
- *Breadth (m)* : 7,88
- *Depth (m)* : 2,33
- *WSA (m²)* : 403,213

Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari literature (jurnal, buku, dan data yang didapat pada penelitian sebelumnya).

3.2 Parameter Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada variasi sudut *stern wedge* menggunakan beberapa parameter. Penelitian ini disimulasikan untuk mendapatkan variasi model dengan nilai hambatan total paling kecil.

Parameter yang dipakai adalah sebagai berikut :

➤ Parameter tetap

Dimensi properties dari lambung kapal perang antara lain:

1. LOA (L) (m)
2. Breadth (B) (m)

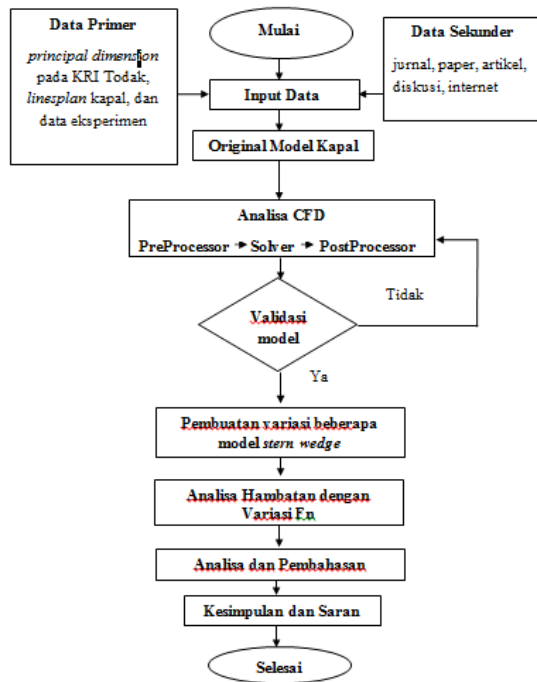
➤ Parameter peubah

Parameter peubahnya antara lain :

1. Sudut Stern Wedge
2. Kecepatan kapal (Fn)

3.3 Diagram Alir Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini terangkum secara sistematis dalam diagram alir di bawah ini:



Gambar 2 diagram alir penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan dianalisa nilai hambatannya dengan menggunakan metode *CFD*, dimana hasil perhitungan divalidasikan dengan hasil perhitungan dari metode *Holtrop*. Skala model yang dipakai pada proses simulasi *CFD* adalah 1 : 100.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan desain *stern wedge* kapal perang yang optimal yaitu memiliki nilai hambatan yang minimal dengan mendesain variasi sudut sesuai dengan dua parameter yang sudah ditentukan. Parameter tersebut meliputi : sudut *stern wedge* dan kecepatan kapal

Data ukuran utama model kapal :
Bare Hull

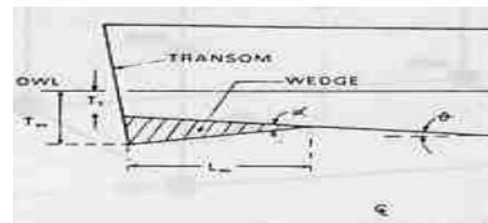
Length (m) : 54,42
 Breadth (m) : 7,88
 Depth (m) : 2,33
 WSA (m²) : 403,213

4.1 Pengolahan Data

Hasil pemodelan dari *Rhinoceros 5.0* diexport dalam bentuk *file .igs* terlebih dahulu kemudian dibuka di *software CFD*. Analisa *CFD* yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah pemodelan, visualisasi aliran, dan nilai hambatan total KRI Todak pada bentuk *stern wedge* yang sudah divariasi dengan dua parameter.

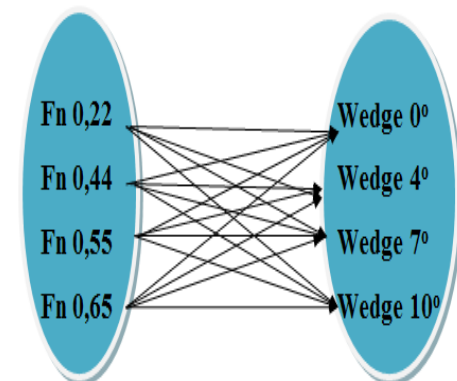
4.2 Variasi Desain Stern Wedge

Metode yang digunakan dalam variasi *stern wedge* adalah korespondensi satu-satu dari parameter yang digunakan.



Gambar 3. Parameter bentuk *stern wedge*

Metode yang digunakan dalam variasi *stern wedge* adalah korespondensi satu-satu dari parameter yang digunakan. Parameter pada variasi *stern wedge* adalah kecepatan kapal dan sudut *stern wedge*. Skema korespondensi satu-satu untuk menghasilkan variasi bentuk *stern wedge* kapal perang menggunakan 2 parameter yaitu 3 macam variasi kecepatan dan 4 sudut *stern wedge*, kemudian akan menghasilkan 12 macam variasi *stern wedge*.

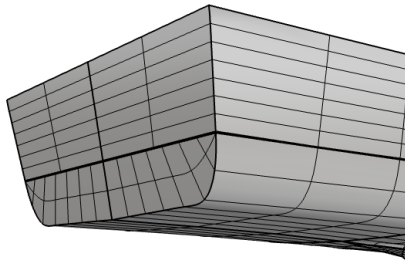


Gambar 4. Skema korespondensi satu- satu

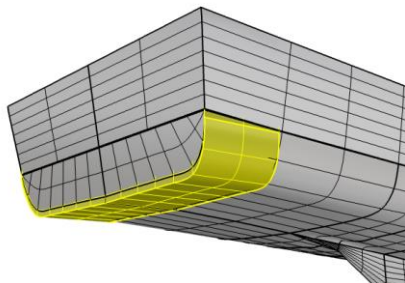
Tabel 1. hasil korespondensi satu- satu bentuk *stern wedge* KRI Todak.

No	Nama Model	Fn				Variasi Wedge(°)
1	Model Asli	0,22	0,44	0,55	0,65	0
2	Model A	0,22	0,44	0,55	0,65	4
3	Model B	0,22	0,44	0,55	0,65	7
4	Model C	0,22	0,44	0,55	0,65	10

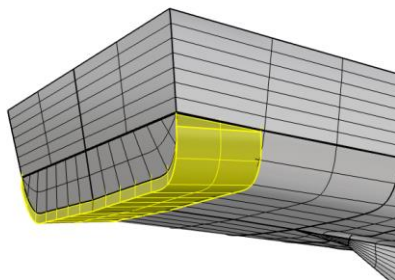
Model sebanyak 16 tersebut kemudian dibuat di software *Rhinoceros 5.0* sesuai dengan ukuran yang sudah ditentukan pada masing-masing variasi *stern wedge*. Berikut adalah tampilan gambar model asli dan hasil korespondensi satu - satu variasi *stern wedge* KRI Todak.



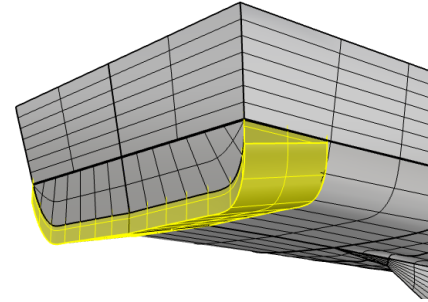
Gambar 5. Model Asli



Gambar 6. Model A



Gambar 7. Model B



Gambar 8. Model C

Tabel 2. Perbandingan luas permukaan basah

No	Nama Model	Luas Basah (m ²)	Selisih dg Model Original (m ²)
1	Model Original	403,27	-
2	Model A	404,68	1,41
3	Model B	405,70	2,43
4	Model C	407,15	3,88

Model asli dan model variasi tersebut diuji dengan menggunakan software *CFD* dan hasilnya dapat diketahui nilai C_t dari masing-masing model tersebut. Nilai C_t dari hasil *CFD* tersebut kemudian digunakan untuk mencari nilai hambatan total sebenarnya dari masing-masing model. Dari hasil tersebut dicari nilai hambatan model yang lebih kecil dari nilai hambatan model asli kapal.

4.3 Simulasi *Computational Fluid Dynamic*

Proses simulasi numerik pada *Computational Fluid Dynamic* dimulai dari pembuatan model lambung kapal perang. Pemodelan lambung dengan menggunakan program *Rhinoceros 05*, kemudian file tersebut diexport dalam bentuk file .iges untuk di buka di *ANSYS*.

Langkah – langkah simulasi ini dibagi menjadi beberapa tahapan antara lain:

- Geometry*
- Mesh*
- Setup*
- Solution*
- Result*

Tahap *geometri* adalah tahap pemodelan yaitu tahap penentuan model yang akan dianalisa. Berdasarkan penelitian sebelumnya, pembuatan kolam *towing tank* dilakukan dengan menyesuaikan ukuran kapal. Panjang kolam *towing tank* 4 Lpp, di depan haluan 1 Lpp dan dibelakang buritan 2 lpp. Penelitian ini pada tahap meshing menggunakan metode *CFX-mesh*.

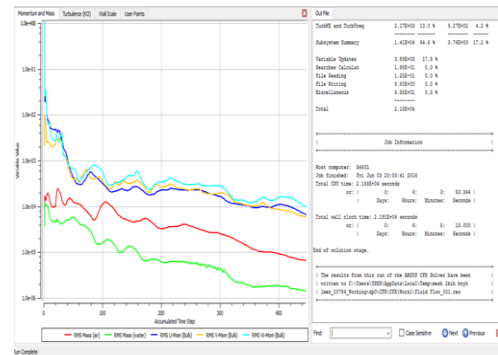
Tabel 3. Perbandingan Statistik *Mesh*

No	Model	Total
1	Original	677116
2	A	674948
3	B	671037
4	C	674359

Tahap *setup* dibagi menjadi beberapa langkah, antara lain default domain, *solver*, pembuatan *expression*, dan lain-lain.

Setelah *setup* selesai dilakukan, tahap selanjutnya adalah *solution*. Dalam tahap ini proses perhitungan (running) dilakukan berupa literasi dari persamaan dasar dinamika fluida pada CFD.

Setelah proses running atau simulasi selesai maka hasilnya dapat kita lihat di tahap *solution*. Pada tugas akhir ini hasil yang diinginkan berupa nilai hambatan kapal, model, visualisasi pressure dan visualisasi aliran.



Gambar 10. Grafik perhitungan (*running*)

Domain - Default Domain		Settings	
Type	Fluid	Flow Regime	Subsonic
Location	B22	Mass And Momentum	Entrainment
Materials		Relative Pressure	2.4925e+03 [Pa]
Water		Turbulence	Zero Gradient
Fluid Definition	Material Library	Boundary - outlet	
Morphology	Continuous Fluid	Type	OUTLET
Settings		Location	Outlet
Buoyancy Model	Buoyant	Settings	
Buoyancy Reference Temperature	2.5000e+01 [C]	Flow Regime	Subsonic
Gravity X Component	0.0000e+00 [m s ⁻²]	Mass And Momentum	Static Pressure
Gravity Y Component	0.0000e+00 [m s ⁻²]	Relative Pressure	P
Gravity Z Component	-g	Boundary - Sym	
Buoyancy Reference Location	Automatic	Type	SYMMETRY
Domain Motion	Stationary	Location	Symmetry
Reference Pressure	1.0132e+05 [Pa]	Settings	
Heat Transfer Model	Isothermal	Boundary - Bottom	
Fluid Temperature	2.5000e+01 [C]	Type	WALL
Turbulence Model	SST	Location	Bottom
Turbulent Wall Functions	Automatic	Settings	
Boundaries		Mass And Momentum	Free Slip Wall
Boundary - inlet		Boundary - basehull	
Type	INLET	Type	WALL
Location	Inlet	Location	BaseHull
Settings		Settings	
Flow Regime	Subsonic	Mass And Momentum	No Slip Wall
Mass And Momentum	Cartesian Velocity Components	Wall Roughness	Smooth Wall
U	3.1476e+00 [m s ⁻¹]	Boundary - side	
V	0.0000e+00 [m s ⁻¹]	Type	WALL
W	0.0000e+00 [m s ⁻¹]	Location	Side
Turbulence	Low Intensity and Eddy Viscosity Ratio	Settings	
Boundary - top		Mass And Momentum	Free Slip Wall
Type	OPENING		
Location	Top		

Gambar 9. Domain Physics and Boundary Physics for CFX

4.4 Validasi Hasil Uji Model Metode CFX Dengan Hasil Uji Model Metode Holtrop

Pada penelitian ini untuk memvalidasi hasil dari uji model, menggunakan hasil uji metode *Holtrop* yang sudah dilakukan pada penelitian sebelumnya. Validasi digunakan untuk menentukan *boundary condition* yang tepat untuk digunakan pada *boundary condition* pada saat menganalisa hasil modifikasi *stern wedge* menggunakan *software* CFX. Adapun maksimal *error* untuk validasi antara CFX dengan uji hasil *Holtrop* adalah 5%.

Tabel 4. Perbandingan nilai *Ct Holtrop* dan *Ct CFX*

Ket.	Holtrop	CFX	Selisih
			0,000289
<i>Ct</i>	0,012359	0,01207	(2,39%)

Hasil *Ct* yang didapatkan pada CFX untuk model original atau model asli adalah 0,01207 hasil tersebut masuk dalam kriteria *error* dibawah 5% dari hasil uji dengan metode *Holtrop* yaitu 0,012359, jadi selisihnya 0,000289 atau 2,39 %.

4.5 Perhitungan Hambatan Kapal

Perhitungan hambatan kapal dengan metode *Computational Fluid Dynamic* diambil dari tahap *results*. Data diambil dari menu *expressions* pada tahap *results*. Data yang diperlukan untuk menentukan hambatan kapal total adalah *Ct* atau koefisien hambatan total kapal model yang didapat dari *CFD*. Kemudian dari data koefisien tersebut kita olah sehingga kita mendapat nilai hambatan total kapal sebenarnya.

Dari data yang ada, model asli dan 3 model variasi masing – masing dan dicari nilai hambatannya. Berikut hasil proses *running*.

Tabel 5. Perbandingan nilai *Ct* tiap-tiap model

No	Model	<i>Ct</i>			
		<i>Fn</i> 0,22	<i>Fn</i> 0,44	<i>Fn</i> 0,55	<i>Fn</i> 0,65
1	Model Ori	0,01207	0,012974	0,010309	0,014347
2	Model A	0,011905	0,012518	0,010201	0,013184
3	Model B	0,012077	0,013043	0,010113	0,013182
4	Model C	0,013667	0,013891	0,010602	0,013698

Koefisien hambatan total paling kecil terdapat pada Model A pada *Fn* 0,65 yaitu sebesar 0,013184. Dengan menggunakan rumus maka hambatan total lambung kapal perang skala 1:1 didapatkan sebagai berikut :

Rumus umum dari hambatan total kapal adalah [4] :

$$RT = \frac{1}{2} \rho \cdot Ct \cdot S \cdot V^2$$

Dimana

- ρ : masa jenis air laut
- Ct* : koefisien hambatan total
- S* : *wetted surface area*
- V* : kecepatan

4.6 Perhitungan Hambatan Total pada Model

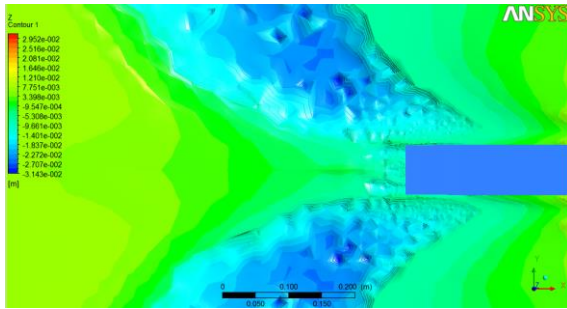
Simulasi dilakukan untuk mencari model kapal perang baru dengan hambatan lebih kecil dari pada hambatan kapal perang asli atau original. Pada 3 model modifikasi yang di analisa terdapat model dengan hasil yang lebih baik dari pada model asli.

Hambatan total kapal skala 1:1 dengan koefisien hambatan total pada model Original dengan nilai *Ct* 0,01207.

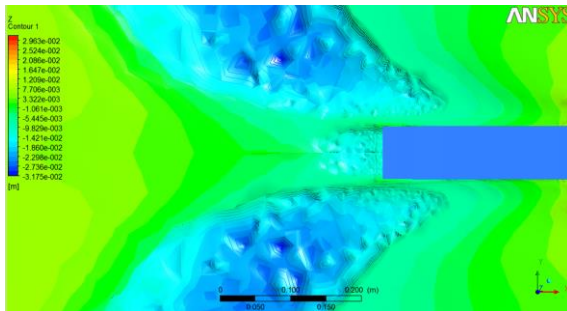
Tabel 6. Perhitungan *Rt* tiap model skala 1:1

No	Nama Model	<i>Rt</i> (N)			
		<i>Fn</i> 0,22	<i>Fn</i> 0,44	<i>Fn</i> 0,55	<i>Fn</i> 0,65
1	Model Asli	66137	281820	338272	682656
2	Model A	65459	277548	335884	645284
3	Model B	67732	289758	333822	646460
4	Model C	76808	309240	351222	673132

Dari data tabel 6 tersebut didapatkan nilai hambatan total dari model original pada *Fn* 0,65 adalah 682656 N, sedangkan model dengan hambatan terkecil terdapat pada Model A pada *Fn* 0,65 yaitu 645284 N. Selisih keduanya 37372 N atau 5,47 % lebih kecil dibandingkan hambatan total model original. Berikut perbandingan hasil simulasi antara model original dan model A pada *Fn* 0,65.



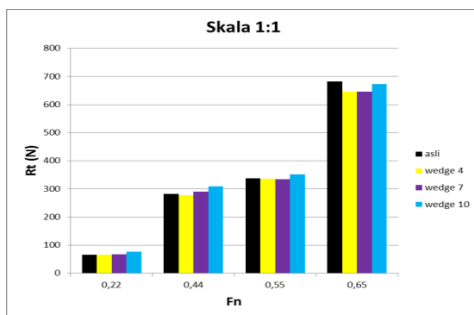
Gambar 11. Contour Isosurface Model Asli (Fn 0,65)



Gambar 12. Contour Isosurface Model A (Fn 0,65)

4.7 Perhitungan Hambatan Total dengan Variasi Kecepatan dalam Fn

Simulasi ini dilakukan untuk menghitung hambatan setiap model pada variasi Fn tertentu, yaitu pada Fn 0,22 ; Fn 0,44 ; Fn 0,55 dan Fn 0,65. Simulasi ini juga berguna untuk mengetahui pengaruh kecepatan (Fn) terhadap hambatan total kapal. Hasil dari perhitungan ini dapat mengetahui sudut *stern wedge* terbaik yang memiliki hambatan paling kecil di setiap variasi kecepatan (Fn).



Gambar 13. Grafik Perbandingan Hambatan total kapal perang pada Fn 0,22 ; Fn 0,44 ; Fn 0,55 dan Fn 0,65

Tabel 8. Perbandingan nilai Rt tiap model skala 1:1 pada 4 variasi Fn

No	Nama Model	Rt (N)			
		Fn 0,22	Fn 0,44	Fn 0,55	Fn 0,65
1	Model Asli	66137	281820	338272	682656
2	Model A	65459	277548	335884	645284
3	Model B	67732	289758	333822	646460
4	Model C	76808	309240	351222	673132

Kesimpulan dari tabel 8 dan grafik 2 tersebut dapat diketahui nilai hambatan kapal pada Fn 0,65 adalah yang paling besar. Semakin cepat kapal maka akan semakin besar nilai hambatan totalnya. Hambatan total terkecil pada Fn 0,22 adalah model A dengan nilai 65459 N selisih 678 N (1,02%) dari model asli, pada Fn 0,44 adalah model A dengan nilai 277548 N selisih 4272 N (1,51%) dari model asli, pada Fn 0,55 adalah model B dengan nilai 333822 N selisih 4450 N (1,31%) dari model asli dan pada Fn 0,65 adalah model A dengan nilai 645284 N selisih 37372 N (5,47%) dari model asli.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil perhitungan dan analisis yang dilakukan dengan CFD didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Dengan adanya penambahan *stern wedge* pada kapal KRI Todak, berpengaruh pada nilai hambatan total yang dihasilkan. Penurunan yang dihasilkan mencapai 5,47% pada Fn 0,65 yaitu dari 682,65 kN (model asli) menjadi 645,28 kN (model A).
2. Hasil analisa hambatan total yang memiliki hambatan paling minimum adalah pada model A yaitu dengan panjang *wedge* 2% Lpp atau 1,2 m, lebar *wedge* (B_T) 7 m dan *sudut wedge* 4°.

5.2 Saran

1. Menganalisa dengan CFD sudut stern wedge dengan besar lebih dari 10° dan dengan *Froude Number* yang lebih banyak.
2. Menganalisa gaya angkat kapal akibat penambahan *stern wedge*.
3. Membandingkan nilai efisiensi antara model asli dengan model yang telah mempunyai *stern wedge*.
4. Mengkaji secara teknis dan ekonomis akibat penambahan *stern wedge* dan tanpa *stern wedge*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] [https://id.wikipedia.org/wiki/KRI_Todak_\(631\)](https://id.wikipedia.org/wiki/KRI_Todak_(631))
- [2] Setiawan, A. Yoni dan Aryawan, Wassis Dwi, *Modifikasi Bentuk Buritan pada Shallow Draft Bulk Carrier untuk Meningkatkan Efisiensi Sistem Propulsi*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
- [3] Bojovic¹, Predrag and Sahoo², Prasanta K, *Effect of Stern Wedge and Advanced Spray Rail System on Calm Water Resistance of High-Speed Displacement Hull Forms*, ABS Americas¹, Australian Maritime College².
- [4] Manik, Parlindungan, *Bahan Ajar Hambatan Kapal*, Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro