

adanya *Energy Saving Devices* (ESD) yang dipasang oleh PT. Pertamina (PERSERO) Perkapalan pada kapal tanker 40000 LTDW. Maka dari itu, penulis membutuhkan data berupa literatur penelitian yang memiliki topik yang serupa dan *text book* yang berkaitan dengan masalah propulsi dan hidrodinamika. Selain itu, data-data kapal tanker 40000 LTDW dari PT. Pertamina (PERSERO) Perkapalan juga dibutuhkan. Data kapal penelitian ini dijabarkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data kapal dan model dari tanker Pertamina (PERSERO) 40000 LTDW

Nama	Simbol	Satuan	Kapal	Model
Length Overall	LoA	m	183.000	3.9262
Length between perpendicular	Lpp	m	175.500	3.7653
Breadth	B	m	32.500	0.6973
Depth	D	m	17.100	0.3669
Draft	T	m	11.000	0.2360
Displacement	∇	ton	51181.000	0.5054
Volume	Δ	m ³	49932.683	0.4931

Langkah berikutnya adalah menghitung hambatan kapal kosong. Metode yang dipakai adalah metode Holtrop, karena metode ini cukup efektif dalam mencari nilai hambatan kapal, dan juga karena koefisien dari metode ini mudah dicari [7]. Setelah dari perhitungan hambatan kapal kosong, kemudian penulis melakukan permodelan terhadap kapal tanker Pertamina (PERSERO) ini. Untuk data hambatan serta koefisien propulsi dijabarkan pada Tabel 2 dan Tabel 3 :

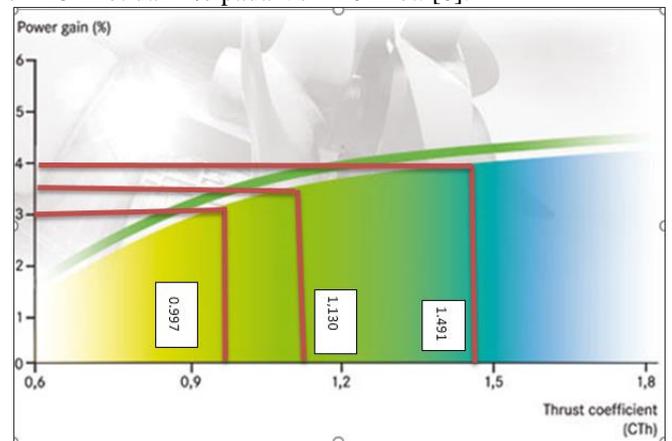
Tabel 2. Data hambatan kapal tanker Pertamina (PERSERO) 40000 LTDW

Item	V = 10 knot	V = 15 knot (Service Speed)	V = 18 knot
Froude Number (Fn)	0,122	0,182	0,182
Koefisien Gesek (Cf)	0,00158	0,00150	0,00147
Model – Ship Correction Allowance (C _A)	0,000382111	0,000382111	0,000382111
Wake Fraction (w)	0,158	0,157	0,157
Hambatan Total (R _T)	282,098 KN	720,315 KN	1369,776 KN
Effective Horse Power (EHP)	1972,962 HP	7556,692 HP	17244,089 HP
Delivered Horse Power (DHP)	3284,22 HP	10828,35 HP	24720,04 HP
Shaft Horse Power (SHP)	3351,24 HP	11049,34 HP	25224,53 HP
Brake Horse Power (BHP)	3437,171 HP	11332,65 HP	25871,313 HP
Speed of Advance (Va)	8,42 knot	12,64 knot	15,17 knot

Tabel 3. Data koefisien propulsi kapal tanker Pertamina (PERSERO) 40000 LTDW

Item	V = 10 knot	V = 15 knot (Service Speed)	V = 18 knot
Jumlah daun Propeler (Z)	4	4	4
Propeler Disc Area (A ₀)	34,266 m ²	34,266 m ²	34,266 m ²
Diameter Propeler (D)	6,60 m	6,60 m	6,60 m
Hambatan total (RT)	282,098 KN	720,315 KN	1369,776 KN
Speed of Advance (Va)	8,42 knot	12,64 knot	15,17 knot
Massa jenis air laut (ρ)	1,025 ton/m ³	1,025 ton/m ³	1,025 ton/m ³
Thrust dari hambatan total (kN)	328,021	837,575	1592,762
Koefisien gaya dorong (C _{Th})	0,997	1,130	1,491

Berdasarkan hasil koefisien gaya dorong yang penulis dapat, dengan data yang diklaim dari Becker™ selaku perusahaan yang menyediakan ESD pada kapal tanker Pertamina 40000 LTDW ini, diperkirakan nilai efisiensi dari ESD akan bernilai 3% pada V_s = 10 knot, 3,5% pada V_s = 15 knot dan 4% pada V_s = 18 knot. [8].

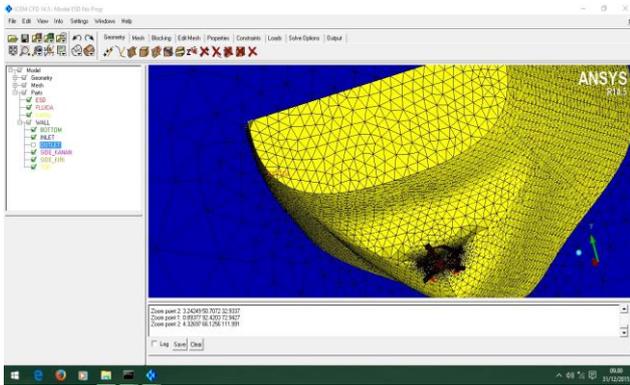


Gambar 2. Perbandingan antara C_{Th} dan kenaikan efisiensi energi.

Penelitian ini menggunakan perhitungan dengan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) [9]. Metode ini dibutuhkan permodelan, running, dan visualisasi hasil. Pada tahap permodelan, data linesplan kapal dibutuhkan untuk proses penggambaran ulang atau *redrawing* dari badan kapal. Aplikasi yang digunakan adalah *Autodesk AutoCAD 2014 trial version*. Setelah badan kapal selesai digambar ulang, maka tahap berikutnya adalah memodelkan propeler dan ESD. ESD yang digunakan oleh PT. Pertamina (PERSERO) ini adalah Becker™ Twisted Fins. Untuk memodelkan propeler, penulis memakai aplikasi *HydroComp PropCAD 2005*. Setelah data dibuat dari *PropCAD*, data tadi diekspor ke *AutoCAD* untuk dilakukan perbaikan. Sedangkan permodelan ESD dilakukan dengan aplikasi *Autodesk AutoCAD 2014 trial version* yang dibantu juga dengan aplikasi *SolidWorks 2015 SP 3.0*. Hal ini dilakukan untuk memastikan ESD yang dibuat bisa presisi dengan badan kapal dan propeler.

Tahapan berikutnya adalah membuat permodelan dengan aplikasi *ANSYS ICEM CFD v.14.5* dan running dengan aplikasi *ANSYS CFX v.14.5*. Pertama adalah membuka file dari permodelan kapal, ESD dan propeler yang sudah dibuat sebelumnya ke *ANSYS ICEM CFD v.14.5*. Kemudian buat

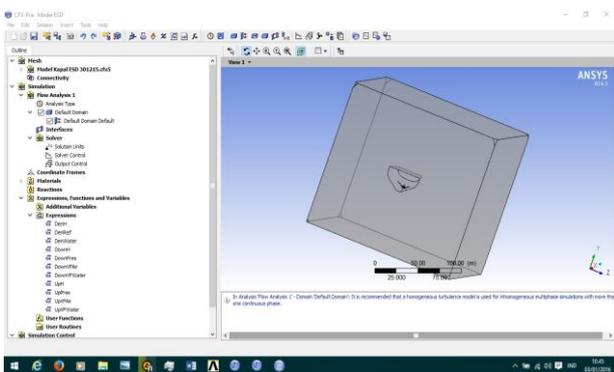
permukaan (*surface*) dari masing-masing model tadi. Setelah dibuat permukaan, maka buat elemen-elemen dari model atau *meshing*, sehingga dari model ini bisa dibuat analisa secara hidrodinamika dari model.



Gambar 3. Meshing dengan ANSYS ICEM CFD

Setelah dilakukan proses *meshing*, file bisa langsung diekspor ke ANSYS CFX. Ada 3 aplikasi yang digunakan, yaitu ANSYS Pre, ANSYS Solver, dan ANSYS Post. ANSYS Pre berfungsi untuk memasukan batasan yang akan dilakukan sebelum dilakukan running, ANSYS Solver berfungsi untuk melakukan proses running dan ANSYS Post berfungsi untuk melakukan analisa setelah file dirunning. Untuk tahap yang dilakukan penulis dalam proses running adalah :

- Pertama, buka aplikasi ANSYS CFX di komputer
- Pilih ANSYS Pre pada menu
- Lalu buat projek baru dengan cara File – New Kasus – General – Ok.
- Kemudian pilih Import – Mesh. Pilih file mesh ICEM CFD yang telah disimpan sebelumnya. Kemudian pilih open.
- Akan tampil meshing yang sudah dilakukan di ICEM CFD sebelumnya.



Gambar 4. Tampilan awal CFX Pre dari permodelan

- Kemudian dimasukkan kondisi batas pada analisa ini. Untuk analisa ini, penulis membatasi kondisi : propeler dalam analisa ini dalam keadaan fixed mesh. Lalu diuji dalam keadaan dua kondisi, kapal dengan menggunakan ESD dan kapal tanpa menggunakan ESD dengan tiga variasi kecepatan, yaitu 10 knot, 15 knot dan 18 knot.

- Masukkan batasan-batasan ini, beserta persamaan kendali kasus di jendela domain di kiri layar aplikasi. Batasan yang

dimasukkan di antaranya :

a. Persamaan kontinuitas yang memiliki rumus :

$$\dot{m}_{inlet} = \dot{m}_{outlet}$$

$$(\rho Av)_{inlet} = (\rho Av)_{outlet} \tag{1}$$

b. Persamaan Navier-Stokes yang memiliki rumus :

$$\rho \left(\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{v} \right) = -\nabla p + \nabla \cdot \mathbf{T} + \mathbf{f}, \tag{2}$$

c. Persamaan *turbulence model* pada kasus, dimana penulis memakai metode *k-epsilon*. Metode ini memiliki rumus :

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \tag{3}$$

- Kemudian setelah selesai, dapat dilakukan simulasi running dengan ANSYS Solver.

Tahapan berikutnya adalah tahap iterasi atau running. Proses iterasi adalah proses penghitungan kasus yang dibuat dengan menggunakan perhitungan komputer, sehingga nantinya akan didapat hasil perhitungan yang telah dimasukkan pada aplikasi ANSYS Pre. Hasil dari iterasi ini bisa dicari dengan menggunakan aplikasi ANSYS Post. Pada penelitian ini, penulis ingin mengetahui hasil kenaikan *thrust* pada masing-masing kasus. Sehingga yang dicari pada ANSYS Post berupa gaya tekan yang bekerja sesuai kecepatan kapal. Pada kasus penelitian ini, penulis merekap komputasi dan waktu yang diperlukan dalam melakukan proses *running*. Hal ini untuk mengetahui berapa lama pengujian *grid independent* yang dibutuhkan pada kasus pengujian penulis, sehingga pembaca dapat mengerti bahwa penelitian ini membutuhkan jam orang yang banyak. Tabulasi dari proses *running* ini dijabarkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Data komputasi dan waktu iterasi komputer penelitian

Nama	Kasus	Spesifikasi	Waktu Iterasi
Lenovo H50-50	ESD & Propeler dengan Vs = 10 knot	RAM 8 GB, Intel Core i5 3rd Gen, HDD 1 TB <i>Grid Independent</i> = 800000 <i>Max iteration</i> = 900	4 jam 27 menit 47 detik
	ESD & Propeler dengan Vs = 15 knot	RAM 8 GB, Intel Core i5 3rd Gen, HDD 1 TB <i>Grid Independent</i> = 800000 <i>Max iteration</i> = 900	4 jam 34 menit 11 detik
	ESD & Propeler dengan Vs = 18 knot	RAM 8 GB, Intel Core i5 3rd Gen, HDD 1 TB <i>Grid Independent</i> = 800000 <i>Max iteration</i> = 900	4 jam 35 menit 5 detik
	Propeler dengan Vs = 18 knot	RAM 8 GB, Intel Core i5 3rd Gen, HDD 1 TB <i>Grid Independent</i> = 800000 <i>Max iteration</i> = 900	4 jam 29 menit 5 detik
Asus X450JN	Propeler dengan Vs = 10 knot	RAM 4 GB, Intel Core i7 3rd Gen, HDD 1 TB <i>Grid Independent</i> = 800000 <i>Max iteration</i> = 900	6 jam 51 menit 33 detik
	Propeler dengan Vs = 15 knot	RAM 4 GB, Intel Core i7 3rd Gen, HDD 1 TB <i>Grid Independent</i> = 800000 <i>Max iteration</i> = 900	7 jam 44 detik

III. HASIL DAN DISKUSI

Berdasarkan langkah pekerjaan pada bagian sebelumnya, setelah dilakukan iterasi dengan ANSYS Solver, maka tabulasi gaya tekan yang menekan daun propeler dijabarkan pada Tabel 5 berikut .

Tabel 5. Hasil gaya tekan propeler pada semua kondisi uji model dengan function calculator ANSYS Post

Keadaan	Propeler 18 knot	Propeler 15 knot	Propeler 10 knot	Propeler & ESD 18 knot	Propeler & ESD 15 knot	Propeler & ESD 10 knot
Gaya tekan (N)	352.746	244.312	109.864	324.358	224.715	99.285

Dari data di atas, dapat disimpulkan bahwa pada saat ESD terpasang, gaya tekan pada propeler mengalami penurunan. Hal itu bisa terjadi karena sebagian gaya tekan terdistribusi ke ESD, yang mengarahkan aliran air menjadi teratur, sehingga gaya yang bekerja berkurang. Selisih antara gaya tekan ini dinamakan *gain*. Di mana rumusnya adalah : $352.746 - 324.358 = 28.388$ N atau 28.388 kN untuk kecepatan kapal (V_s) = 18 knot dan $244.312 - 224.715 = 19.597$ N atau 19.597 kN untuk kecepatan kapal (V_s) = 15 knot serta $109.864 - 99.285 = 10.579$ N atau $10,579$ kN untuk kecepatan kapal (V_s) = 10 knot. Serta berdasarkan perhitungan hambatan yang mendapatkan nilai *service thrust* pada kapal ini sebesar $837,575$ kN, maka berdasarkan rumus di awal, bisa dicari efisiensi dari *thrust* kapal ini.

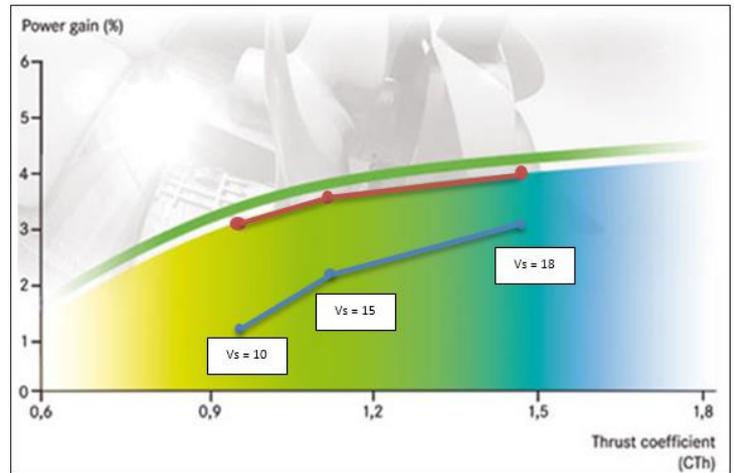
$$\begin{aligned} \text{Eff. Gained} &= \frac{\text{Gain}}{\text{Service thrust}} * 100\% = \frac{10,579}{837,575} * 100\% \\ &= 1,26\% \text{ untuk } V_s = 10 \text{ knot} \\ \text{Eff. Gained} &= \frac{\text{Gain}}{\text{Service thrust}} * 100\% = \frac{19,597}{837,575} * 100\% \\ &= 2,34\% \text{ untuk } V_s = 15 \text{ knot} \\ \text{Eff. Gained} &= \frac{\text{Gain}}{\text{Service thrust}} * 100\% = \frac{28,388}{837,575} * 100\% \\ &= 3,39\% \text{ untuk } V_s = 18 \text{ knot} \end{aligned}$$

Untuk membandingkan dengan klaim dari Becker™ pada kapal Pertamina (PERSERO) ini, memiliki efisiensi ESD seperti berikut :

Tabel 6. Persentase efisiensi ESD berdasarkan klaim Becker™

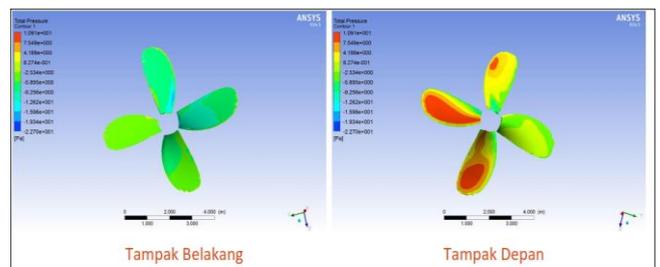
Kecepatan (knot)	10 knot	15 knot	18 knot
Persentase efisiensi berdasarkan koefisien <i>thrust</i> (CTh)	3%	3,5%	4%

Dan ini adalah plot grafik perbandingan antara efisiensi dari perhitungan CFX dan klaim Becker™.

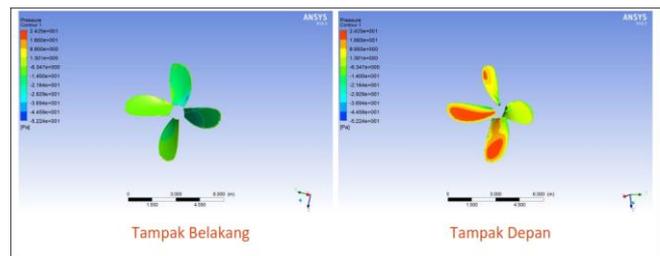


Gambar 5. Plot grafik klaim Becker (merah) dan persentase dari CFX (biru)

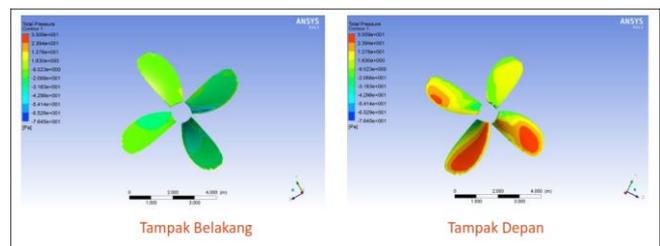
Setelah dilakukan perhitungan, maka penulis dapat menganalisa gaya tekan pada propeler. Fungsinya adalah untuk mengetahui distribusi dari persebaran tekanan air terhadap daun propeler yang diuji. Ini adalah grafik dari propeler yang terkena gaya tekan setelah dilakukan iterasi.



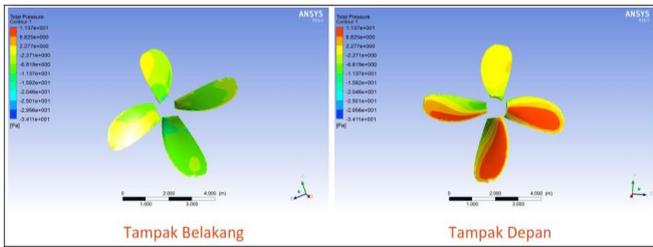
Gambar 6. Gaya tekan pada propeler yang terpasang ESD dengan kecepatan 10 knot



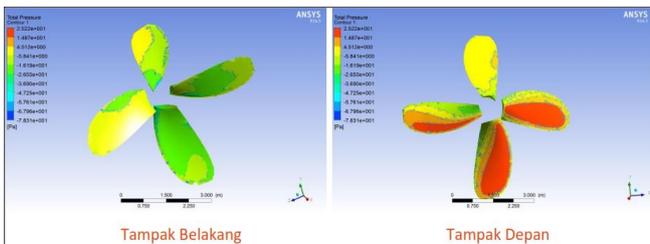
Gambar 7. Gaya tekan pada propeler yang terpasang ESD dengan kecepatan 15 knot



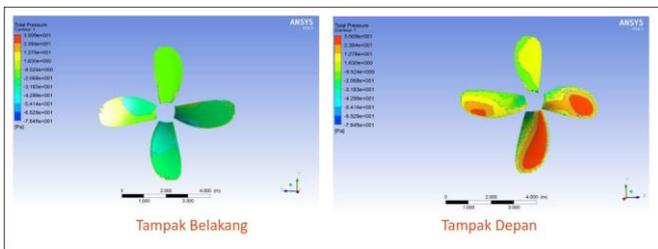
Gambar 8. Gaya tekan pada propeler yang terpasang ESD dengan kecepatan 18 knot



Gambar 9. Gaya tekan pada propeler yang tidak dipasang ESD dengan kecepatan 10 knot



Gambar 10. Gaya tekan pada propeler yang tidak dipasang ESD dengan kecepatan 15 knot



Gambar 11. Gaya tekan pada propeler yang tidak dipasang ESD dengan kecepatan 18 knot

Maka, efisiensi *thrust* yang terjadi pada saat kapal berlayar dengan kecepatan 18 knot adalah 3,39%, pada kecepatan dinasnya memiliki efisiensi sebesar 2,34 %, dan untuk kecepatan 10 knot, efisiensi *thrust* dihasilkan sebesar 1,26 %. Meski tak sama dengan klaim dari Becker™, hasil ini sudah cukup membuktikan bahwa Pertamina (PERSERO) melakukan langkah yang tepat dalam berinvestasi memasang ESD pada kapal tanker 40000 LTDW milik mereka. Nilai dari klaim ini bisa berbeda karena penulis hanya memodelkan bagian buritan kapal saja, atas dasar keterbatasan waktu dan komputasi penulis. Selain itu, kecepatan akan mempengaruhi nilai efisiensi dari ESD. Hal ini karena semakin cepat kapal berjalan, maka gaya tekan yang menghantam daun propeler kapal akan besar. Sehingga jika ESD dipasang pada kapal yang berjalan lambat, maka nilainya relatif kecil dan bahkan bisa tidak menghasilkan efisiensi. Maka dari itu, faktor bentuk lambung kapal, dan kecepatan kapal sangat dibutuhkan pada saat memilih ESD yang akan dipasang ke kapal.

Untuk persebaran gaya tekan pada propeler, pada kecepatan yang rendah, permukaan daun propeler akan mengalami tekanan fluida lebih banyak. Sehingga, pada bagian tertentu, akan muncul daerah kritis yang ditunjukkan dengan warna merah pada Gambar 6 hingga Gambar 11. Selain kecepatan yang rendah, dipasangnya ESD dapat menimbulkan gaya tekan pada daun propeler.

Ini disebabkan karena fluida yang berada diantara propeler dan ESD, akan menekan propeler. Sehingga, pada Gambar 7 sampai Gambar 9, permukaan daun propeler akan tampak bagian yang berwarna jingga, di mana tekanan yang dialami propeler bernilai sedang.

IV. KESIMPULAN & SARAN

Kesimpulan dari pembahasan penelitian ini, dapat disimpulkan :

- PT. Pertamina (PERSERO) melakukan langkah tepat dengan memasang ESD pada kapal tankernya
- Permodelan CFX membuktikan adanya efisiensi dari *thrust*, meski tak sama dengan klaim
- Kecepatan dinas kapal akan mempengaruhi besar kecilnya efisiensi dari ESD.
- Nilai efisiensi yang didapat penulis memiliki perbedaan dikarenakan tidak menguji dengan metode *towing tank*. Penulis hanya menguji dengan iterasi komputer.

Saran dari penelitian ini, penulis memberikan saran kepada beberapa pihak. Saran untuk PT. Pertamina (PERSERO) Perkapalan adalah :

- Sejalan dengan kebijakan green ship yang dilakukan IMO, maka PT.Pertamina (PERSERO) bisa memperbanyak kapal yang dirasa menguntungkan dari sisi investasi untuk dipasang ESD. Hal ini agar kapal dapat menggunakan putaran mesin rendah dengan tenaga yang cukup besar agar emisi gas buang sedikit yang bisa membuat ramah lingkungan.
- Memvariasikan model ESD dari kapal milik Pertamina (Persero) agar kedepannya dapat menjadi sarana ilmu pengetahuan dan sarana riset di Indonesia.

Serta untuk saran kepada yang ingin mengembangkan tugas akhir penulis adalah :

- Dapat memvariasikan kecepatan selain dua kecepatan yang penulis ambil contohnya.
- Dapat memvariasikan model ESD yang lainnya. Karena model ESD yang berbeda, bisa membuat nilai efisiensi *thrust* yang ditimbulkan berbeda-beda.
- Jika menggunakan model ESD Becker™ Twisted Fins dapat divariasikan jarak antara propeler dan ESD nya.

UCAPAN TERIMA KASIH

“Penulis G.R.P mengucapkan terima kasih kepada PT. Pertamina (PERSERO) Shipping selaku instansi dari penelitian penulis yang senantiasa memberikan kemudahan dalam pemberian data, sdr. Sutiyo yang berjasa pada proses permodelan CFD, dan pihak-pihak yang tak bisa penulis sebutkan satu persatu dalam kesuksesan penulisan penelitian ini.”

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lewis, Edward V. 1980. Principles of Naval Architecture Second Revision, Volume II, Resistance, Propulsion and Vibration. Jersey City, NJ : The Society of Naval Architects & Marine Engineers.
- [2] Data-data kapal, propulsi dan ESD oleh Pertamina (PERSERO) Shipping. Jakarta, Indonesia.
- [3] Jong, J. H. D. 2015. A Framework for Energy Saving Devices (ESD) Decision Making, Netherland: MARIN
- [4] Holtrop, J., Mennen, G.G.J. 1982. An Approximate Power Prediction Method, International Shipbuilding Progress : Vol. 29, Netherland
- [5] Schneekluth, H and V. Bertram. 1998. Ship Design Efficiency and Economy, Second Edition, Oxford, UK : Butterworth Heinemann.
- [6] Leksono, Setyo. 2014. Disertasi Pemanfaatan Aliran Slipstream Di Belakang Propeler Kapal Sebagai Energi Penggerak Turbin. Surabaya, Indonesia : ITS
- [7] Harvald, Sv., Aa. . 1992. Diktat Tahanan dan Propulsi Kapal, Surabaya. Indonesia : Airlangga University Press
- [8] http://www.becker-marine-systems.com/03_products/products_twisted_fin.html
Diakses 17 November 2015 jam 10.38.43
- [9] Munson, B.R. Young, D.F. & Okiishi T.H. 2002. Fluid Mechanics. USA : Departements of Mechanical Engineering – Iowa State University