

KARAKTERISTIK HIDRODINAMIKA ALIRAN AIR DISEKITAR PROPELLER-RUDDER PADA BERBAGAI BENTUK PROFILE RUDDER DAN JARAK DENGAN PROPELLER

Muhammad Jihadin Ilmi^{1*}, Muhammad Anis Mustaghfirin², Emie Santoso³

¹Program Studi D4 Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jawa Timur 60111 Indonesia

²Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jawa Timur 60111 Indonesia

³Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jawa Timur 60111 Indonesia

*Email: jihadinilmi15@gmail.com

Abstract - Maneuverability on ship design should be resolve all resistance effect to get standard velocity of moving the ship. The characteristic of the rudder-propeller is very important to the performance to maneuver. Distance of the rudder-propeller (Hugo,2016), shape of rudder profile (Liu,2016), is very pengaruhnya jika menggunakan tipe twin screw (muscar,2017). In this case to know velocity countour around of propeller rudder on the perintis ship 2000GT with distance variation rudder to propeller and rudder profile variation. Our porpose is get the best drag and lift for better maneuvering. We design on 3D model with PropCad for Propeller, Maxsurf for Hull and Spaceclaim for rudder and assembly all component. Our Analys should in CFD and the process use ANSYS FLUENT to show hydrodynamic characteristic, In this final project we use real validation from sea trial results. From this model we get velocity approtimate with sea trial results validation. In sea trial results the velocity is 9-13.3 knot or 4.63-6.842 m/s. Otherwise in ANSYS simulation show 4.18-8.37 m/s from velocity Iounter in Fluent with rotation propeller 424 rpm in the real condition design. After this we know the best rudder NACA profile is NACA0018 and the best distance is 25% Propeller Diameter.

Keyword : Rudder ,Distance, NACA Profile

Nomenclature

R_F	: Tahanan gesek berdasarkan rumus ITTC-1957
$(1+k_1)$: Faktor bentuk dari lambung kapal
R_{APP}	: Tahanan tambahan
R_W	: Tahanan gelombang
R_B	: Tahanan tambahan dari bulbous bow
R_{TR}	: Tahanan tambahan dari area transom yang tercelup
R_A	: Tahanan akibat model kapal
R_{AA}	: Tahanan udara
F_C	: Jumlah konsumsi bahan bakar (ltr/hr)
SFC	: Konsumsi bahan bakar spesifik (Kg/kWh)
P	: Daya keluaran mesin (kW)
ρ	: Massa jenis bahan bakar solar = 0.85 Kg/ltr

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan Pemerintah Indonesia saat ini mulai berbenah dalam bidang infrastruktur khususnya dalam bidang maritim. Menurut data kementerian perhubungan,2017 pada akhir tahun ini sedang melanjutkan pembangunan 5 unit kapal ternak, 15 unit kapal container 100 TEUs, 5 unit kapal perintis 750 DWT, 20 kapal perintis 1200 GT, serta 25 unit kapal perintis tipe GT. 2000. Hal tersebut menunjukkan betapa pentingnya sektor kemaritiman bagi Indonesia untuk mewujudkan Indonesia yang bersatu dan berdaulat. Namun, sebuah pembangunan tanpa

melakukan evaluasi dan inovasi didalamnya tidak akan memperbaiki kualitas kapal dan sumber daya manusia tersebut. Dalam hal ini adalah pembangunan kapal perintis tipe GT. 2000 yang sedang dikerjakan oleh PT. ORELA Shipyard.

Pada dasarnya kapal perintis tipe GT 2000 menggunakan tipe *propeller twin screw* atau bisa kita sebut memiliki dua *propeller*. Sedangkan, penelitian yang telah dilakukan oleh kebanyakan peneliti lain seperti *Roberto muscari*, 2017 hanya melihat dari satu *rudder propeller* saja padahal saat ini lebih dibutuhkan analisa tipe *propeller twin screw*. Sehingga membuat penulis dituntut lebih menganalisa jauh lagi berapakah jarak ideal antara *propellerrudder* dan mampu memilihan *rudderprofile* terbaik untuk *twinsrew* pada kapal perintis tipe 2000 GT

2. METODOLOGI

2.1 Kemudi Kapal (Rudder)

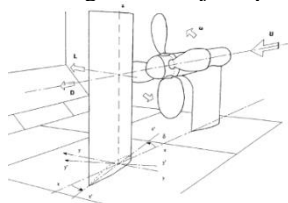
Rudder atau kemudi merupakan alat mekanis pada kapal yang berfungsi untuk merubah arah aliran fluida yang dihasilkan oleh putaran propeller, sehingga mengakibatkan perubahan arah haluan kapal. Bagian-bagian utama dari sistem pengemudian dapat dikelompokkan dalam empat bagian utama, yaitu:

- a) Kemudi, bagian yang berfungsi sebagai alat untuk membelokkan kapal sesuai dengan sudut belok yang dibutuhkan

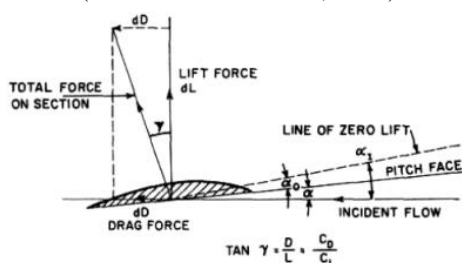
- dengan memanfaatkan aliran fluida yang dihasilkan oleh propeller.
- Unit kontrol, bagian yang berfungsi untuk mengontrol dan mengendalikan kerja dari sistem pengemudian.
 - Unit tenaga, bagian yang berfungsi untuk memberikan tenaga yang nantinya digunakan untuk proses menggerakkan poros kemudi.

2.2 Gaya yang Bekerja pada Rudder

Tahanan Aliran fluida pada lambung kapal yang tercelup air sebelum mengenai daun kemudi pada dasarnya adalah simetris. Arah kapal tidak berubah karena aliran yang dihasilkan saling menyeimbangkan satu sama lain. Oleh karena itu untuk merubah arah kapal dibutuhkan gaya tambahan, yaitu gaya pada daun kemudi. Dengan adanya daun kemudi yang membentuk arah fluida dengan sudut α pada kecepatan yang konstan maka muncullah gaya pada daun kemudi yang tidak simetris. Gaya ini disebut gaya kemudi, gaya inilah yang menyebabkan perubahan arah haluan kapal. Gaya kemudi merupakan resultan dari **drag force** dan **lift force**. Istilah **lift** digunakan pada analisa gaya ke atas suatu **foil aerodynamic**, maka dari itu dinamakan gaya **lift** (angkat) sebab umumnya **foil aerodynamic** digunakan untuk mengangkat pesawat. Namun istilah **lift force** juga digunakan pada menganalisa gaya suatu **foil** kemudi untuk membelokkan kapal ke arah samping. Sedangkan **drag force** merupakan gaya pada kemudi yang arahnya berlawanan dengan arah laju kapal.



Gambar 2.1 Konfigurasi propeller dan rudder (Molland dan Turnock, 1991)



Gambar 2.2 Gaya yang bekerja pada rudder (Principles of Naval Architecture Volume II – Propulsion, 1988)

Besarnya **lift force** dan **drag force** yang terjadi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$L = \frac{\rho \times v^2 \times A \times C_L}{2} \quad (1)$$

$$D = \frac{\rho \times v^2 \times A \times C_D}{2} \quad (2)$$

Dengan,

L = Lift force

D = Drag force

α = Angle of attack

V = Kecepatan fluida

C_L = Koefisien lift force

C_D = Koefisien drag force

ρ = Density of fluid

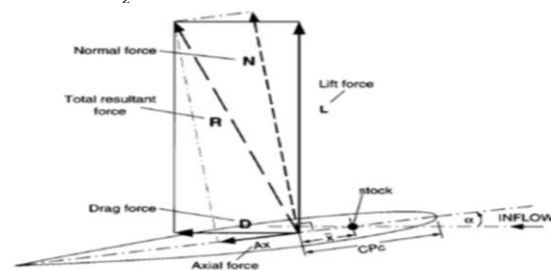
A = Luas penampang rudder

2.3 Gaya Angkat Kemudi

Ketika kapal bergerak dengan kecepatan tertentu (U) pada aliran bebas ada beberapa gaya yang bekerja, antara lain tahanan kapal, gaya dorong kapal. Dan agar kapal dapat berbelok maka sudut **rudder** dirubah arahnya sehingga membentuk sudut α (**angle of attack**) terhadap center line dan memicu adanya resultan gaya hydrodynamic F . Gaya ini bekerja pada satu titik yang disebut **center of pressure (CP)**. Resultan gaya didapat dari komponen **lift** atau gaya angkat (L) yang arahnya tegak lurus dengan arah aliran dengan komponen **drag** (D) yang arahnya sejajar dengan arah aliran. Untuk menentukan besar gaya kemudi dengan ukuran luas kemudi dan kecepatan operasional yang berbeda, kita dapat menggunakan persamaan dibawah ini:

$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2} \rho U^2 A R}$$

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho U^2 A R}$$



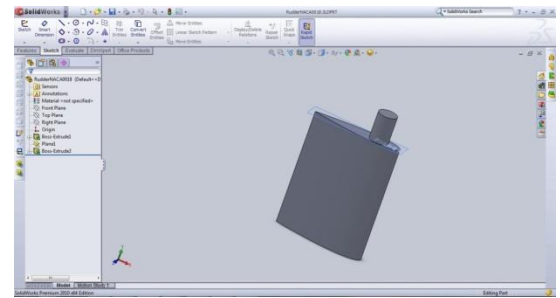
Gambar 2.3 Gaya Angkat Kemudi (Reichel, 2009)

2.4 Hidrodinamik Propeller Rudder

Dalam membuat bentuk dasar **rudder & propeller** dibutuhkan bentuk yang hidrodinamis yaitu yang dinamakan **hidrofoil** dimana menghasilkan suatu **lift** yang lebih besar dibandingkan dengan **drag**nya. Pergerakan dari **hidrofoil** ini terjadi pada suatu media fluida dengan kecepatan yang memungkinkan terjadinya hidrodinamika. Hidrodinamika adalah peristiwa dimana kecepatan antara bagian atas dan bawah **hidrofoil** terjadi perbedaan.

Fluida yang melalui bagian atas **airfoil** melaju lebih cepat daripada fluida yang melewati bagian bawah. Hal ini disebabkan adanya perbedaan tekanan antara aliran fluida bagian atas dan aliran fluida

bagian bawah. Seperti yang kita ketahui bahwa besarnya tekanan berbanding terbalik terhadap besarnya kecepatan. Sehingga yang terjadi adalah aliran fluida yang melalui bagian bawah *hidrofoil* lebih pelan bila dibandingkan bagian atas *hidrofoil*. Perbedaan tekanan yang terjadi inilah yang kemudian akhirnya menimbulkan fenomena *lift* atau gaya angkat itu.



Gambar 3.2 Model Rudder

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Utama Kapal

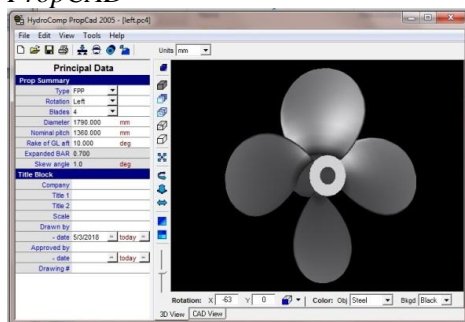
Berikut ini adalah data utama kapal perintis:

Vessel Name	: Perintis 2000 GT
Kind of Vessel	: Passanger Vassel
Owner	: Kementrian
Perhubungan	
Flag	: Indonesia
Length Overall	: 68.5 m
Length Perpendicular	: 63 m
Breadth Moulded	: 14 m
Design Draft	: 2.9 m
Speed	: 12 knots
Classification	: BKI

3.2 Permodelan Data

3.2.1 Pemodelan Propeller menggunakan PropCAD

Data ukuran utama *propeller* digunakan sebagai input pada software *PropCAD* yang kemudian langsung dilakukan perhitungan guna menghasilkan koordinat propeller 3D. Berikut visualisasi desain geometri pada software *PropCAD*



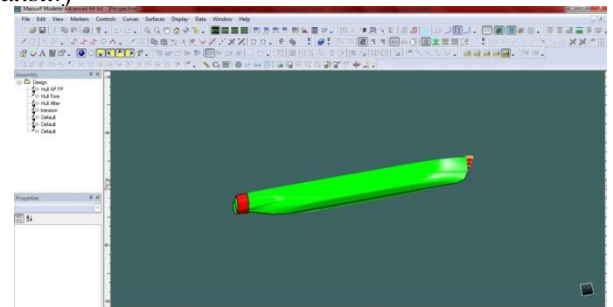
Gambar 3. 1 Model Propeller

3.2.1 Pemodelan Rudder menggunakan Solidwork

Pembuatan model 3D kemudi kapal menggunakan software *Solidwork* dimana data dan bentuk foil NACA yang digunakan diperoleh dari *Airfoil tools2018*.

3.2.3 Pemodelan Hull menggunakan Maxsurf

Pembuatan model 3D lambung kapal perintis menggunakan software *Maxsurf*



Gambar 3.3 Pemodelan Hull

3.3 Simulasi Model

3.3.1 Geometri

Pembuatan Geometri dilakukan pada ANSYS Spaceclaim agar dapat diproses lebih mudah pada Proses selanjutnya Proses Geometri ini sangatlah berpengaruh terhadap hasil analisa menggunakan ANSYS kedepan.

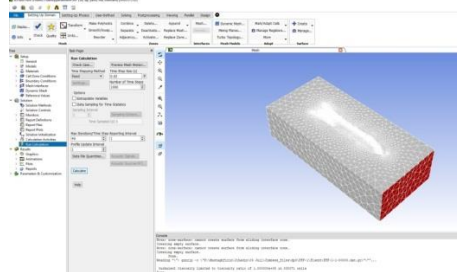
3.3.2 Meshing

Setelah dilakukan geometri selanjutnya adalah proses Meshing dimana kita melakukan pengamatan terhadap geometri kita apakah sudah benar atau belum. Pada tahap ini kita menggunakan meshing size proximity and curvature agar hasil yang ditunjukkan lebih halus, namun disini lain waktu running akan semakin lama, maka untuk mempersingkat waktu beberapa simulasi menggunakan meshing size curvature agar lebih mempersingkat waktu.

3.3.3 Setup

Pada Langkah setup ini kita memasukan beberapa input yang sesuai dengan perancangan kita. Seperti Rpm Propeller sebesar 424 rpm velocity inlet sebesar 0, pressure outlet kita anggap tekanan atmosfer. Untuk Proppeller yang harus diputar untuk mengetahui interaksinya dengan fluida. Fluida kita atur sebagai water dengan density 1025 kg/m³. Pertama pada bagian general kita atur pada mode transient agar mengetahui interaksi apabila propeller diputar Kemudian kita atur

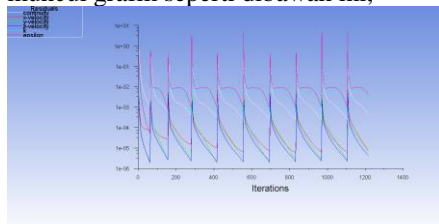
boundary nya menggunakan k-epsilon & scalable wall function agar kita dapat mengetahui interaksi dengan propeller. Pastikan terdapat intersection mode antara propeller dan pastikan semua boundary condition adalah fluid sehingga mampu saling berinteraksi dan propeller dapat berputar.



Gambar 3.4 Setup

3.4 Solution

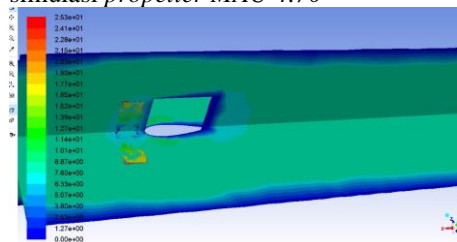
Pada Solution yang terdapat di ANSYS kita dapat menentukan banyaknya iterasi yang kita butuhkan sesuai dengan kebutuhan Analisa kita. Iterasi kita atur minimal 1000 iterasi dengan 0.01 timestep agar mendapat hasil yang maksimal. Didalam Iterasi tersebut akan muncul grafik seperti dibawah ini,



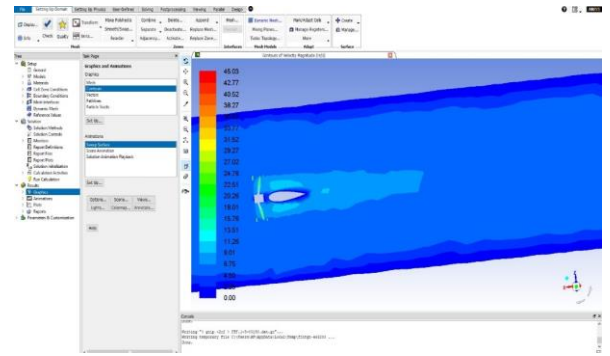
Gambar 3.5 Hasil Running Iterasi

3.5 Results

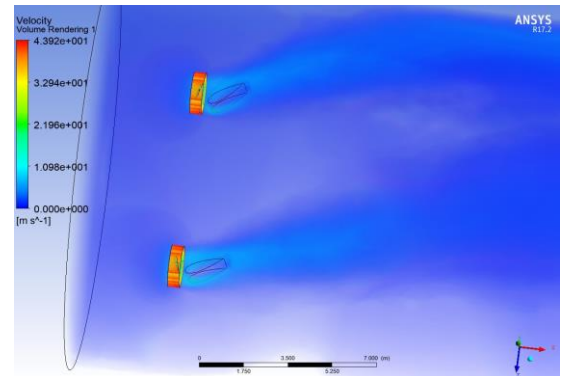
Tahap akhir penelitian menggunakan ANSYS yaitu tahap *results* dimana kita mendapatkan hasil yang dapat disimulasikan 2D maupun 3D. Pada tahap ini diperoleh bentuk aliran fluida dari *propeller*. Nilai *thrust* diperoleh sebesar 100,196 KN dan nilai *torque* sebesar 21,861 KNm dari hasil simulasi *propeller MAU 4.70*



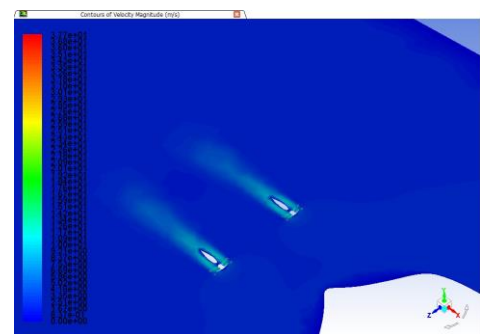
Gambar 3.6 Single Rudder Results



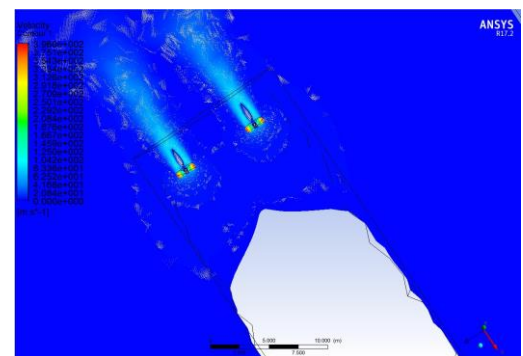
Gambar 3.7 Single Rudder & Propeller



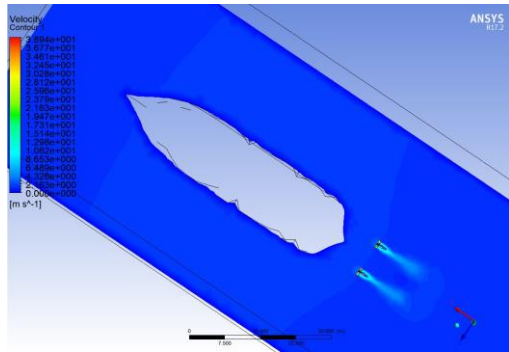
Gambar 3.8 Twin Rudder Propeller Without Hull Turn to Port



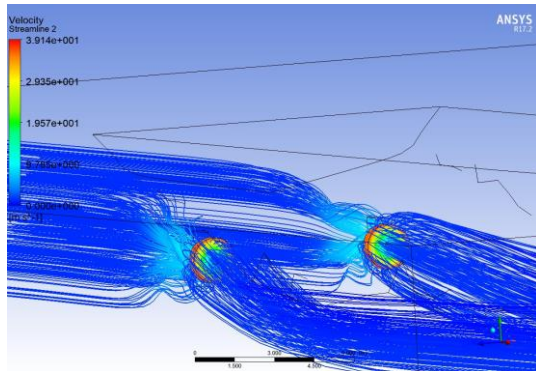
Gambar 3.9 Twin Screw Propeller with Hull with inlet velocity 0m/s



Gambar 3.10 NACA 0021 Velocity Countour



Gambar 3.11 NACA 0024 Velocity Countour



Gambar 3.12 Velocity Streamline

3.6 Perhitungan berdasarkan Simulasi CFD

Tabel 4. 1 Penggaruh Perubahan NACA Profile pada Rudder

	NACA 0024	NACA 0021	NACA 0018	NACA 0012	NACA 0008
Force (kN)	3.32x10 ³	4.05x10 ³	6.51x10 ³	7.28x10 ³	7.41x10 ³
Torque (N m)	17119	21719	24920	59330	65370
Drag	54602	48778	45765	33051	26912
Lift	7403	6516	4935	3894	3171

Sumber : Data pribadi hasil simulasi.

Dari hasil analisa menggunakan software ansys pada keadaan nol derajat *angle of attack* tersebut dapat kita ketahui bahwa penggunaan NACA0024 memiliki nilai Lift paling Tinggi sehingga penggunaan NACA 0024 sangat cocok digunakan pada wilayah sungai. Sedangkan penggunaan NACA0008 memiliki nilai Drag paling rendah dan nilai Force paling tinggi sehingga sangat cocok digunakan pada perairan laut lepas akan tetapi kurang cocok untuk wilayah sunggai. Sedangkan penggunaan NACA0018 adalah yang paling ideal.

Tabel 4. 2 Penggaruh Jarak (mm) Propeller dengan Rudder NACA0018

Jarak	Force	Torque	Drag	Lift
118	6.50x10 ³	18274	50994	4549
220	6.51x10 ³	21719	45765	4935
322	6.53x10 ³	37305	40466	5267
447	6.55x10 ³	54884	37540	5242

716	6.59x10 ³	58943	35836	4833
-----	----------------------	-------	-------	------

Sumber: Data pribadi hasil simulasi

Pada Tabel tersebut terlihat bahwa adanya perubahan pada perubahan jarak Rudder dengan propeller. Jarak yang digunakan pada kapal sesungguhnya adalah 220mm yang memiliki nilai lift 49352 dan nilai drag 45765 akan tetapi nilai drag dapat dikecilkan ke jarak 716mm agar kapal dapat melaju lebih optimal akan tetapi pada jarak 716mm terjadi penuruna nilai lift dikarenakan terlalu jauh nya jarak antara propeller dengan rudder. Jadi jarak yang paling optimal adalah 447mm atau 25% Diameter propeller.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan beberapa percobaan hasil simulasi yang telah dilakukan maka dapat disimpulakn sebagai berikut:

1. Terjadinya perubahan nilai drag, lift, thrust dan torque pada kapal dapat terjadi apabila dilakukan variasi jarak rudder dengan propeller dan apabila dilakukan variasi perubahan rudder profile.
2. Dari variasi rudder profile NACA0024, NACA0021, NACA0018, NACA0012, NACA0008 yang memiliki nilai Lift terbaik adalah NACA0024 dikarenakan bentuknya yang paling cembung sehingga sangat cocok untuk bernuver diperairan dangkal (sungai). Namun penggunaan NACA0024 kurang cocok digunakan diperairan lepas karena memilki nilai drag yang tinggi sehingga menghambat kapal ketika sedang melaju. Sehingga penggunaan NACA0018 adalah yang paling ideal (Tabel 4.6).
3. Kontour aliran kecepatan air disekitar *rudder, propller* dan *hull* mengalami perubahan seiring dengan jauh dekatnya kontour velocity dengan *rudder & propeller*. Apabila rudder mengalami perubahan sudut maka laju aliran air akan berubah mengikuti perubahan sudut *rudder* yang membuat kapal berbelok berlawanan arah dengan perubahan arah gerak *rudder*
4. Dari variasi jarak *rudder propeller* semakin jauh jarak antara *propeller* dan *rudder* maka nilai *thrust/force* yang dihasilkan semakin meningkat begitu juga dengan nilai torque karena laju aliran air tidak terhambat oleh *rudder*. Namun jika jarak *rudder* dengan *propeller* terlalu jauh dapat mengurangi nilai *lift* pada kapal tersebut sehingga memperlambat respon belok kapal karena jauhnya jarak rudder dengan propeller sehingga jarak paling baik antara *rudder* dan *propeller* untuk kapal *twin screw* adalah 447mm atau 25% Diameter proller (Tabel 4.7)

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Antony F Molland and Stephen R Turnock. 2003. *Marine Rudder and Control Surface*. Butterworth-Heinemann. Linacre House, Jordan Hill, Oxford
- [2] Biro Klasifikasi Indonesia. 2014. *Rules For Hull Volume II*. Jakarta.
- [3] E. C. Tupper. 2004. *Introduction to Naval Architecture* Fourth Edition. Butterworth-Heinemann. Linacre House, Jordan Hill, Oxford
- [4] H. Schneekluth and V. Bertram. 1998. *Ship Design for Efficiency and Economy*. Butterworth-Heinemann. Linacre House, Jordan Hill, Oxford
- [5] Harvald, Sv, Aa. (1992). *Tahanan dan Propulsi Kapal*. Surabaya. Airlangga University Press.
- [6] Hugo Digitec E. 2016. *Pengaruh Jarak Rudder Dan Propeller Terhadap Kemampuan Thrust Menggunakan Metode CFD (Studikasuk Kapal Kriso Container Ship)*. Jurnal Teknik Perkapalan - Vol. 4, No.1. UNDIP. Semarang.
- [7] Jialun Liu. 2016. *Impacts Of The Rudder Profile On Manoeuvring Performance Of Ships*. Delft University of Technology, Mekelweg 2, Delft, 2628 CD The Netherlands.
- [8] Johanes, Benedictus Belalawe. 2017. *Analisis Variasi Posisi Rudder Terhadap Efektivitas Manuver Kapal*. Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan - FTK ITS. Surabaya.
- [9] Lewis, E. V. (1989). *Principles of naval architecture*. Edition: 2nd revision. Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1988-89, Vol. 2.
- [10] Saragih, Rapelman. 2011. *Pengaruh Jumlah dan Posisi Rudder Terhadap Kemampuan Manuvering Kapal*. Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Sistem Perkapalan - FTK ITS. Surabaya.
- [11] Saunders, H. E. 1965. *Hydrodynamics in Ship Design. Author's Notes. Vol. III*. SNAME
- [12] Roberto Muscari. 2017. *Analysis Of The Asymmetric Behavior Of Propeller–Rudder System Of Twin Screw Ships By CFD*. CNR-INSEAN, via del Vallerano 139, 00128 Roma, Italy