

PENGARUH JARAK *RUDDER* DAN *PROPELLER* TERHADAP KEMAMPUAN *THRUST* MENGGUNAKAN METODE CFD (STUDI KASUS KAPAL *KRISO CONTAINER SHIP*)

Hugo Digitec E. Sembiring, Deddy Chrismianto, Parlindungan Manik
Program studi S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Email: hugosembiring21@gmail.com

Abstrak

Aspek penting dalam perencanaan kapal adalah perencanaan sistem propulsi dan kemampuan olah gerak kapal. Salah satu aspek dari sistem propulsi adalah perencanaan propeller, dan untuk meningkatkan kemampuan olah gerak kapal adalah dengan mengoptimalkan kinerja rudder. Salah satu cara yang digunakan untuk meningkatkan kinerja propeller dan rudder yaitu menganalisa pengaruh variasi posisi rudder dan propeller. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai koefisien thrust terbaik untuk propeller KCS dan nilai koefisien lift dan koefisien drag pada *semi-balance rudder*. Variasi jarak yang digunakan berdasarkan pada diameter propeller yaitu 54%D, 59%D, 65%D, 71%D, 76%D. Peneliti menggunakan *software ansys CFX* dengan menggunakan metode CFD dalam mencari nilai nilai yang dibutuhkan. Untuk mengetahui nilai yang paling optimal dari range jarak 0-76%D peneliti menggunakan metode optimasi MOGA pada *software ansys workbench*. Berdasarkan hasil analisa, didapatkan bahwa nilai koefisien thrust terbaik terdapat pada jarak 54%D sebesar 0.507, pada jarak 59%D sebesar 0,476, pada jarak 65%D sebesar 0,424, pada jarak 71%D sebesar 0,403 dan pada jarak 76% sebesar 0,403. Dan dari hasil Optimasi Moga maka diketahui bahwa nilai Thrust yang optimal ada pada jarak 55,1% D yaitu dengan nilai koefisien sebesar 0,573. Sehingga dari hasil ini, jarak yang paling baik yang direkomendasikan yang memiliki gaya dorong terbaik adalah pada jarak 55,1%D dari kemudi.

Kata kunci : *Propeller, Rudder, Thrust, CFD*

I. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Banyak aspek yang mempengaruhi dan harus diperhatikan dalam merancang sebuah kapal yang baik yaitu perencanaan lambung yang baik, perencanaan sistem permesinan yang baik, perencanaan sistem propulsi yang baik perhitungan kemampuan olah gerak kapal yang baik dan perencanaan lainnya yang wajib dipenuhi guna mencapai tujuan pembangunan sebuah kapal berdasarkan fungsinya.

Salah satu komponen sistem penggerak kapal adalah propeller. Propeller merupakan bentuk alat penggerak kapal yang paling umum digunakan dalam menggerakkan kapal. Propeller memindahkan tenaga dengan cara merubah gaya putar dari baling-baling menjadi daya dorong untuk menggerakkan badan kapal dengan perantara massa air dengan memutar bilah-bilah yang bersumbu pada poros. Salah satu upaya meningkatkan kemampuan olah gerak kapal adalah mengoptimalkan kinerja rudder. Berbagai cara telah dilakukan untuk meningkatkan kerja rudder salah satunya yaitu dengan memindahkan

rudder tidak segaris dengan poros propeller dengan single screw (Nur Komeidi, 2007). Oleh karena itu muncul ide untuk meneliti pengaruh jarak rudder dan propeller terhadap kemampuan thrust kapal sehingga akan diperoleh konfigurasi jarak antara rudder dan propeller yang dapat mengoptimalkan kemampuan thrust propeller dan gaya lift dan drag pada rudder.

Penelitian ini adalah untuk menganalisa perbedaan performa yang dihasilkan akibat perbedaan jarak antara daun kemudi dan propeller menggunakan pendekatan software CFD (*Computational Fluid Dynamic*). Software dapat memberikan gambaran mengenai distribusi fluida yang terjadi dengan kondisi serta variasi yang telah ditentukan, sehingga dari gambaran tersebut dapat dianalisa mengenai aliran fluida pada propeller tersebut.

1.2 Perumusan Masalah

Dari uraian diatas maka permasalahan utama yang dibahas yaitu:

1. Bagaimana perubahan nilai Thrust, gaya lift dan gaya drag yang dihasilkan akibat perubahan jarak rudder terhadap propeller ?
2. Berapa jarak ideal antara rudder dan propeller untuk mendapatkan hasil terbaik?

1.3 Batasan Masalah

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini permasalahan akan dibatasi sebagai berikut :

1. Objek yang dikaji adalah *Kriso Container Ship* yang mempunyai ukuran utama sebagai berikut:

Data Propeller:

Tipe Propeller	: FPP
Tipe Bentuk Propeller	: B-Series
Jumlah Daun	: 5
Diameter Propeller	: 7,9 m
P/D	: 0,997
Ae/A0	: 0.800
Rotasi	: Kanan

Data Rudder:

Tipe Kemudi	: Semi Menggantung
Tinggi Kemudi	: 9,9 m

2. Variasi jarak rudder dan propeller yang akan di uji adalah 76%D ,71% D , 65% D , 59% D dan 54%D . Dimana D adalah Diameter Propeller.

Table 1. Variasi jarak Rudder terhadap Propeller.

Variasi Percobaan	Jarak <i>rudder</i> dari <i>propeller</i>
20% D	1,580 m
40% D	3,160 m
54% D	4,266 m
59% D	4,661 m
65% D	5,135 m
71% D	5,609 m
76% D	6,004 m

3. Penelitian yang dilakukan menggunakan simulasi computer yaitu menggunakan metode CFD dan *software* yang digunakan adalah *ANSYS workbench* .
4. Menerapkan Metode Optimasi MOGA menggunakan *Goal Driven Optimization*.
5. Hanya menganalisa distribusi aliran fluida yang ada dibelakang propeller.
6. Penelitian yang dilakukan mengabaikan factor gelombang dan kecepatan angin
7. Penelitian yang dilakukan tidak untuk meningkatkan efisiensi propulsif kapal

melainkan untuk membandingkan efisiensi jarak rudder terhadap propeller.

8. Analisa biaya tidak diperhitungkan.

1.4 Tujuan Masalah

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Menentukan peletakan rudder terhadap propeller yang paling optimal pada kapal.
2. Mengetahui seberapa besar pengaruh jarak rudder terhadap propeller untuk nilai *thrust propeller*, *lift* dan *drag rudder*.

II. Tinjauan Pustaka

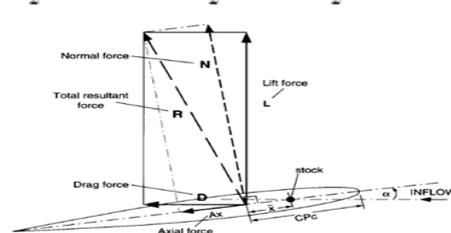
2.1 Kemudi Kapal (Rudder)

Secara prinsip, motor penggerak kemudi kapal sangat dipengaruhi oleh perancangan, sistem propulsi dan sistem kemudi. Sejumlah elemen tersebut secara langsung memberi pengaruh terhadap gaya-gaya dan momen hidrodinamika yang bekerja pada daun kemudi. Hal lain yang juga bisa berpengaruh adalah akibat kondisi Daun kemudi yang terlalu besar, Sehingga terjadi ketidaksesuaian antara mesin penggerak kemudi dengan kemudi tersebut pada saat kapal dibelokkan

2.2 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 meicu 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 degan 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:

$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2} \rho U^2 A R} \quad C_D = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho U^2 A R} \quad C_N = \frac{FN}{\frac{1}{2} \rho U^2 A R} = C_L \cos \alpha + C_D \sin \alpha$$



Gambar 1. Gaya pada kemudi

2.3 Karakteristik baling baling kapal

Secara umum karakteristik dari baling-baling kapal pada kondisi open water test adalah seperti yang direpresentasikan pada diagram KT – KQ – J. Setiap tipe dari masing-masing baling-baling kapal, memiliki karakteristik kurva kinerja yang berbeda-beda. Sehingga kajian terhadap karakteristik baling-baling kapal tidak dapat digeneralised untuk keseluruhan bentuk atau tipe dari baling-baling. Model persamaan untuk karakteristik kinerja baling-baling kapal dapat dihitung dengan persamaan:

$$KT = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \quad KQ = \frac{Q}{\rho n^2 D^4} \quad J = \frac{Va}{nxD}$$

Dimana:

- KT = Koefisien gaya dorong baling-baling
- KQ = Koefisien torsi baling-baling
- J = Koefisien *advanced* baling-baling
- Va = kecepatan *advanced*
- D = diameter *propeller*
- n = putaran *propeller*
- T = *thrust propeller*
- Q = *torque propeller*
- ρ = massa jenis fluida (*fluid density*)

Untuk nilai efisiensi *propeller* pada *open water* diberikan persamaan:

$$\eta_0 = \frac{TxVa}{2x\pi nxQ}$$

2.4 Multi Objective Genetic Algorithm

Murata (1996) mengusulkan algoritma genetika multi obyektif dan menerapkan pada penjadwalan flowshop. Algoritma genetika multi obyektif yang diusulkan menggunakan penjumlahan terbobot untuk menggabungkan berbagai sasaran ke dalam sasaran tunggal.

2.5 Computational Fluid Dynamic (CFD)

Computational Fluid Dynamics (CFD) [8] merupakan salah satu cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisa permasalahan yang berhubungan dengan aliran fluida. Tujuan dari CFD adalah untuk

memprediksi secara akurat tentang aliran fluida, perpindahan panas, dan reaksi kimia dalam sistem yang kompleks, yang melibatkan satu atau semua fenomena di atas.

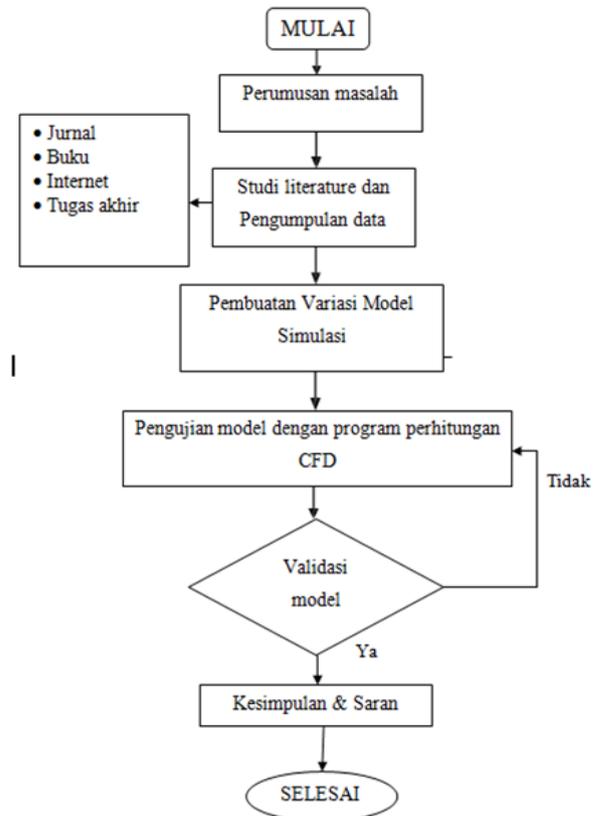
Aplikasi dari CFD untuk penyelesaian masalah aliran pada propeller telah mengalami kemajuan cukup pesat pada akhir-akhir ini. Bahkan pada saat ini teknik CFD merupakan bagian dari proses desain dalam diagram spiral perancangan.

Computational Fluid Dynamics terdiri dari tiga elemen utama yaitu:

- *Pre Processor*
- *Solver Manager*
- *Post Processor*

III. Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian adalah kerangka dasar dari tahapan penyelesaian tugas akhir. Metodologi tersebut mencakup semua kegiatan yang akan dilaksanakan untuk melakukan proses analisa terhadap permasalahan tugas akhir ini. Tahapannya digambarkan di *flowchart* berikut:



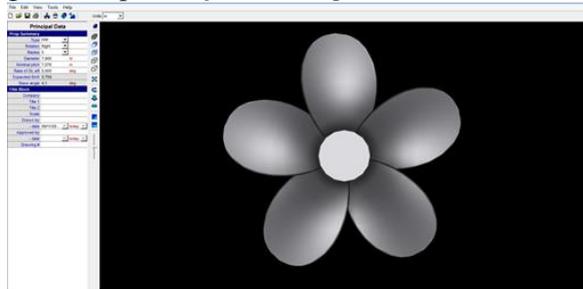
Gambar 2. Diagram alir penelitian

IV. PERHITUNGAN DAN ANALISIS DATA

4.1 Pengolahan Data

4.1.1 Pemodelan Rudder menggunakan PropCad

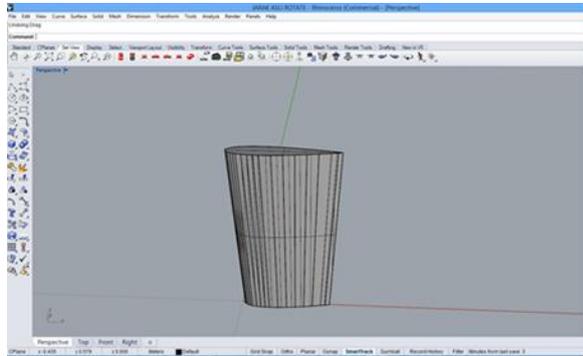
Data ukuran utama *propeller*, digunakan sebagai input pada *software PropCad* yang kemudian langsung dilakukan perhitungan guna menghasilkan koordinat propeller 3D. Berikut ini adalah hasil visualisasi desain geometri pada *software PropCad*.



Gambar 3. Pemodelan Propeller menggunakan Software PropCad

4.1.2 Pemodelan Rudder menggunakan Rhinoceros

Pembuatan model 3D kemudi kapal menggunakan *software Rhinoceros* dimana data dan bentuk foil kemudi yang digunakan diperoleh dari *Simman 2008*.



Gambar 4. Pemodelan Kemudi menggunakan software Rhinoceros

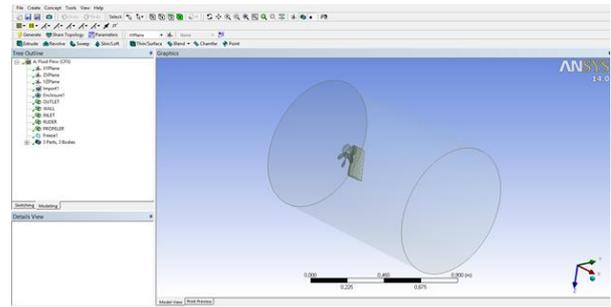
4.1.3 Simulasi Computational Fluid Dynamic

Langkah simulasi numerik pada *ANSYS 14.0* pada dasarnya sama dengan jenis *software* lain yang berbasis *Computational Fluid Dynamic*. Pengujian ini menggunakan perhitungan *solver Fluid Flow Analys (CFX)*. Secara garis besar langkah – langkah simulasi numerik pada *solver* ini dibagi menjadi beberapa tahapan antara lain:

a. Geometry

Geometry merupakan langkah awal dimana pengecekan solid tidaknya model. Pada

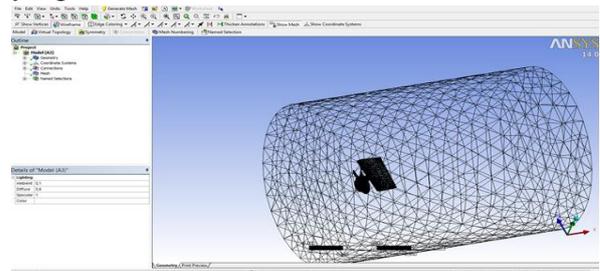
tahap ini juga dilakukan pembuatan domain fluida tempat pengujian.



Gambar 5. Boundary building model pada tahap Geometry

b. Meshing

Perlu diingat bahwa semakin kecil elemen yang dibuat, maka jumlah element yang terbentuk semakin banyak sehingga waktu *running* akan semakin lama dan menghasilkan kapasitas file yang besar.



Gambar 6. Hasil Meshing

c. Setup

Pada tahap setup ini adalah membuat pengaturan yang akan digunakan untuk memvalidasikan hasil uji coba model yang sudah ada.

Domain - B541	
Type	Fluid
Location	B541
<i>Materials</i>	
Water	
Fluid Definition	Material Library
Morphology	Continuous Fluid
<i>Settings</i>	
Buoyancy Model	Non Buoyant
Domain Motion	Rotating
Angular Velocity	-8.3000e+00 [rev s^-1]
Axis Definition	Coordinate Axis
Rotation Axis	Coord 0.1
Reference Pressure	1.0000e+00 [atm]
Heat Transfer Model	Isothermal
Fluid Temperature	2.5000e+01 [C]
Turbulence Model	k epsilon
Turbulent Wall Functions	Scalable

Gambar 7. Setup yang digunakan

d. Solution

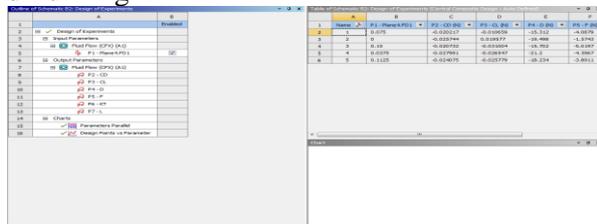
Dalam tahap ini proses perhitungan (*running*) dilakukan berupa literasi dari persamaan dasar dinamika fluida pada CFD.

e. Result

Pada penelitian ini hasil yang diinginkan berupa nilai *thrust(force)* propeller dan nilai lift dan drag kemudian di visualisasi aliran berupa 2 dimensi maupun 3 dimensi.

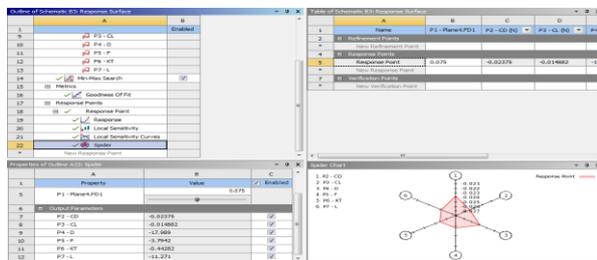
4.1.4 Tahap Optimisasi MOGA

Tahap pertama dari optimisasi adalah menentukan *input parameter* yang digunakan untuk mencapai *output parameter* yang diharapkan yang dapat kita lihat pada gambar 13. Setelah itu di masukkan batasan jarak minimal dan maksimal yang ingin di analisa dan setelah itu di *running*



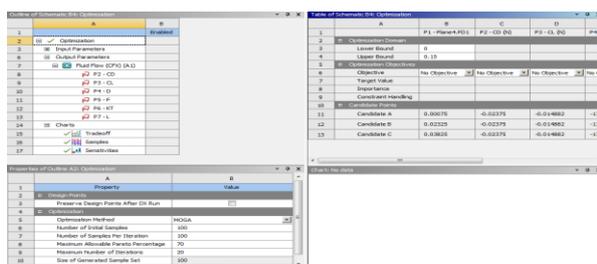
Gambar 8. Design of optimization

Tahap kedua adalah tahap *response surface*, dimana di tahap ini kita dapat melihat hasil *running* pada tiap tiap output parameters.



Gambar 9. Response surface

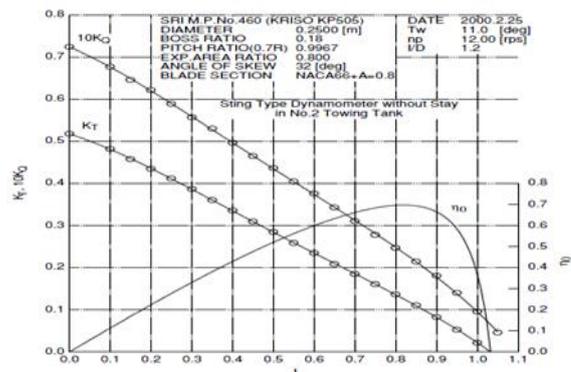
Tahap terakhir adalah tahap memilih metode optimisasi yang ingin digunakan, dalam hal ini peneliti menggunakan metode MOGA.



Gambare 10. Optimization

4.1.10 Validasi Propeller

Pada penelitian ini untuk memvalidasi hasil dari uji model, menggunakan perhitungan manual menggunakan rumus Thrust propeller kapal. Validasi digunakan untuk menentukan *boundary condition* yang tepat untuk digunakan pada *boundary condition* pada saat menganalisa perubahan 5 jarak Propeller dan rudder untuk Kapal KCS dengan menggunakan *software* berbasis CFD. Acuan Validasi untuk Propeller Menggunakan Grafik pada Diktat Analisa KT-KQ-J Wageningen B-series Propeller. Adapun maximal error untuk validasi antara CFD dengan uji hasil perhitungan KT adalah 5%.



Gambar 11. Grafik wageningen propeller for 5 blades AE/A0= 0,800

$$KT = \frac{T}{\rho n^2 D^4}$$

- Kt = Koefisien Thrust
- T = Thrust (N)
- p = Massa Jenis(kg/m³)
- n = Revolution per second
- D = Diameter propeller (m)

Pada penelitian tersebut hasil perhitungan CFD yang dibandingkan dengan uji coba Propeller. Pada hasil perhitungan dengan CFD pada CFX adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Perbandingan hasil uji coba dengan simulasi CFD.

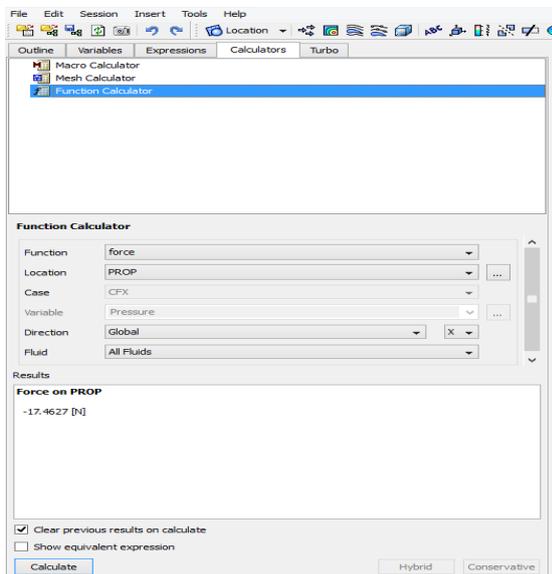
Kecepatan Rotasi (rpm)	Hasil Perhitungan KT	Hasil simulasi CFD	Errorr (%)
500	0,465	0,468	0,6

Dari hasil perhitungan CFD yang dibandingkan dengan uji coba propeller dapat disimpulkan

bahwa parameter *setup* pada perhitungan CFD cukup akurat. Maka parameter tersebut digunakan pada perhitungan CFD untuk semua variasi.

4.1.10 Perhitungan *Thrust* pada propeller dan *Lift* dan *Drag* pada Rudder

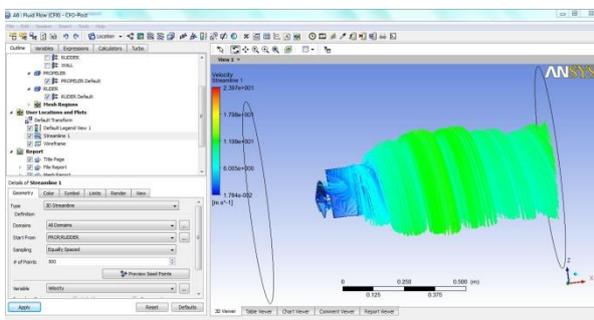
Perhitungan Force pada propeller dan Lift dan Drag pada Rudder dengan menggunakan metode computational Fluid Dynamic pada post processor(hasil Running) diambil dari tahap Results yaitu pada function calculator, function yang diinginkan yaitu force. Location merupakan pemilihan area yang ingin diketahui nilainya dapat dilihat pada gambar 10. Kemudian dari data tersebut diolah sehingga menjadi data yang matang.



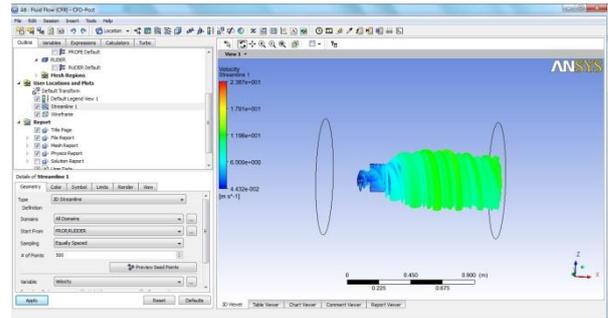
Gambar 12. Pengambilan Data

4.2 Analisa Data

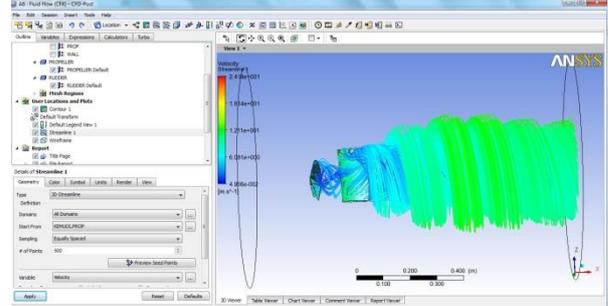
4.2.1 Analisa Data CFX



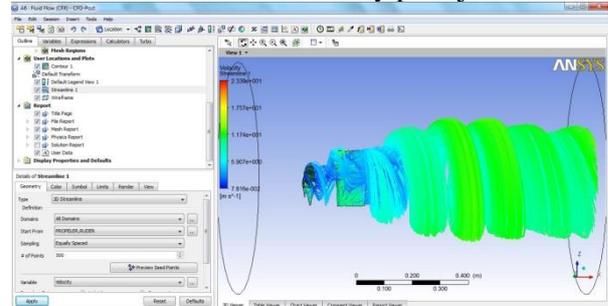
Gambar 13. Streamline velocity pada jarak 20%D



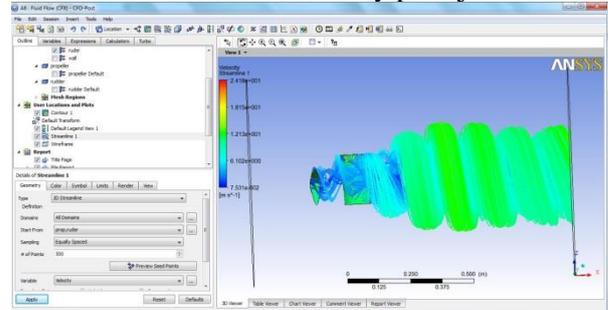
Gambar 14. Streamline velocity pada jarak 40%D



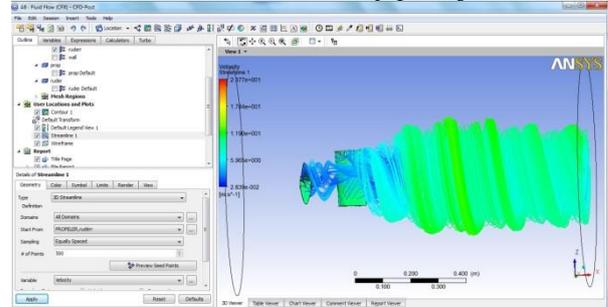
Gambar 15. Streamline velocity pada jarak 54%D



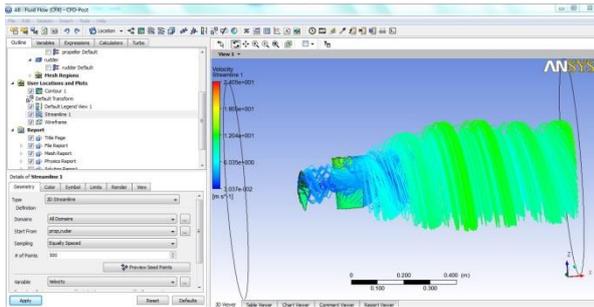
Gambar 16. Streamline velocity pada jarak 59%D



Gambar 17. Streamline velocity pada jarak 65%D



Gambar 18. Streamline velocity pada jarak 71%D



Gambar 19. Streamline velocity pada jarak 76%D

Dari hasil running simulasi pada gambar 13 sampai gambar 17 menunjukkan fenomena *streamline velocity* dan *Pressure contour* pada model yang berbeda.

4.2.2 Optimisasi Data MOGA

Properties of Outline A2: Optimization		
Property	Value	
1	Design Points	
3	Preserve Design Points After DX Run	
4	Optimization	
5	Optimization Method	MOGA
6	Number of Initial Samples	100
7	Number of Samples Per Iteration	100
8	Maximum Allowable Pareto Percentage	70
9	Maximum Number of Iterations	20
10	Size of Generated Sample Set	100
11	Verify Candidate Points	

Gambar 20. Pengaturan optimisasi MOGA

Table of Schematic (B): Optimization							
	A	B	C	D	E	F	G
1		P1 - Flare(FD1)	P2 - CD (N)	P3 - G (N)	P4 - DRAG (N)	P5 - F (N)	P6 - KT (N)
2	Optimization Domain						
3	Lower Bound	0					
4	Upper Bound	0.11					
5	Optimization Objectives						
6	Objective	No Objective	No Objective	No Objective	No Objective	No Objective	Minimize
7	Target Value						Higher
8	Importance						
9	Constraint Handling						
10	Candidate Points						
11	Candidate A	0.09654	-0.017071	-0.059077	-12.93	-21.867	-0.57377
12	Candidate B	0.09654	-0.017071	-0.059077	-12.93	-21.867	-0.57377
13	Candidate C	0.096539	-0.017071	-0.059076	-12.93	-21.867	-0.57377

Gambar 21. Hasil optimisasi MOGA

Dari gambar 18 dan 19 dapat dilihat hasil nilai output parameter yang paling optimal.

4.3 Pembahasan

4.3.1 Analisa CFX

Dari hasil analisa diatas maka dapat dibuat tabel dan grafik sebagai berikut:

Tabel 3: Variasi jarak beserta nilai thrust dan koefisien thrust propeller.

Jarak (m)	Thrust (KN)	Koefisien thrust
4,266	13915	0,507
4,661	13064	0,476
5,135	11637	0,424
5,609	11140	0,403
6,004	9951	0,360

Tabel 4. Variasi jarak beserta nilai lift dan koefisien lift Rudder

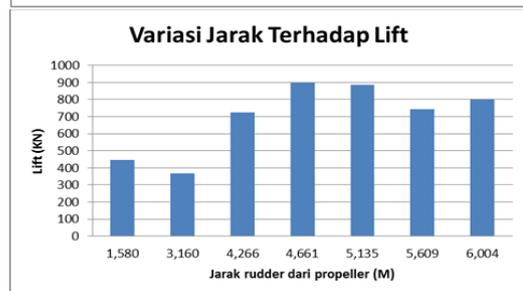
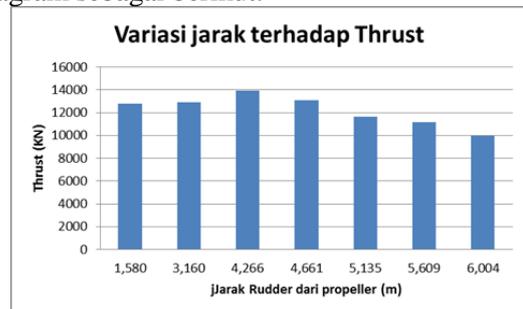
Jarak (m)	Lift (N)	Koefisien Lift
4,266	725,9	0,077
4,661	895,6	0,095
5,135	886,1	0,094
5,609	744,7	0,079
6,004	801,3	0,085

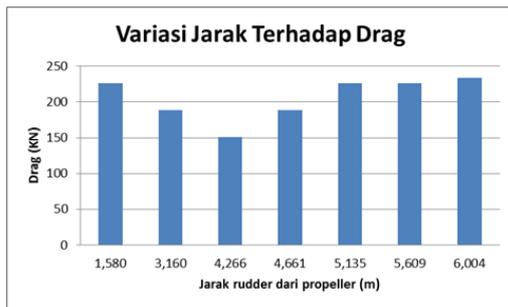
Tabel 5. Variasi jarak beserta nilai lift dan koefisien drag rudder

Jarak (m)	Drag (N)	Koefisien Drag
4,266	150,8	0,016
4,661	188,5	0,020
5,135	226,3	0,024
5,609	226,3	0,024
6,004	233,7	0,024

Pada tabel variasi data dan nilai koefisien thrust propeller, koefisien lift dan koefisien drag rudder menunjukkan hasil perhitungan nilai thrust propeller, drag rudder dan lift rudder pada tiap variasi jarak. Dari tabel hasil perhitungan tersebut dapat dilihat hasil nilai maximum dan minimum dari thrust propeller, lift rudder dan drag rudder. Adapun nilai maksimal pada thrust didapatkan sebesar 13915 KN pada jarak 4,266 meter dari propeller, nilai gaya drag hampir merata pada tiap variasi dengan nilai maksimal 266,3KN dan nilai gaya lift yang maksimal didapatkan sebesar 895,6KN pada jarak 4,661 meter dari propeller.

Dari data diatas maka dapat di bentuk diagram sebagai berikut:





4.3.2 Optimasi MOGA

Hasil analisa menggunakan metode optimasi MOGA maka di dapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 6. Nilai optimal Koefisien Thrust Propeller simulasi MOGA

Jarak Optimal (m)	Nilai Optimal MOGA	Hasil Verifikasi CFX
4,36	0,573	0,515

Tabel 7. Nilai optimal Koefisien Lift Rudder simulasi MOGA

Jarak Optimal (m)	Nilai Optimal MOGA	Hasil Verifikasi CFX
5,590	0,085	0,073

Tabel 8. Nilai optimal Koefisien Drag Rudder simulasi MOGA

Jarak Optimal (m)	Nilai Optimal MOGA	Hasil Verifikasi CFX
5,590	0,0278	0,0262

Dari penyajian Tabel 6 sampai tabel 8 diatas menunjukkan nilai Thrust yang paling optimal dari variasi batas atas 20%D sampai batas bawah 80%D adalah pada jarak 4,36m.

Dari hasil table diatas diketahui bahwa hasil running menggunakan CFX tidak beda jauh dengan hasil optimasi MOGA.

IV. Kesimpulan

Berdasarkan percobaan dan simulasi yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dari variasi percobaan jarak antara 20%D sampai 80% D diketahui bahwa jarak paling optimal adalah pada variasi jarak 55,1% yaitu dengan jarak sebesar 4,36 meter dengan nilai koefisien Thrust sebesar 0,573. Metode analisa CFX dan Metode optimasi MOGA tidak menunjukkan Perbedaan yang signifikan.
2. Nilai gaya drag yang paling terbaik terdapat pada jarak 4,266m dengan besar 150,8KN dan semakin jauh jarak rudder terhadap propeller maka nilai drag semakin tidak optimal. Nilai gaya lift yang paling optimal terdapat pada jarak 4,661 m dan menghasilkan nilai dua kali lebih besar dari jarak clearance.

Daftar pustaka

- [1] Jamali,Arash, 2010, *Investigation of propeller characteristics with different locations of the rudder*, Department of shipping and marine Technology,Chalmer University of Technology :sweden
- [2] Manik, Parlindungan, 2008, *Buku Ajar Propulsi Kapal*, Jurusan Teknik Perkapalan, UNDIP: Semarang
- [3] Reichel,Macielj , 2009, *Influence of rudder location on propulsive characteristics of a single screw container ship*, Ship design and research centre, CTO S.A: Poland
- [4] Rejeki,Tri, 2012, *Flow Analysis in the Rear Propeller CFD Approach*, ITS,Surabaya
- [5] Ridwan,Mohd, 2009, *Perpaduan Antara Propeller dan Daun Kemudi Guna Mengoptimalkan Propulsi dan Manuver Kapal serta Efisiensi Bahan Bakar*,D-III Teknik Perkapalan, UNDIP: Semarang
- [6] Saragih,Rapelman , 2011 , *Pengaruh jumlah dan posisi rudder terhadap kemampuan manoeuvring kapal*, Department of Marine Engineering,ITS:Surabaya