

# PENGARUH PENAMBAHAN FIN PADA RUDDER UNTUK MENGURANGI HAMBATAN KEMUDI KAPAL DENGAN METODE CFD (STUDI KASUS KAPAL *KRISO CONTAINER SHIP*)

Marsaut Maurit Rumapea, Deddy Chrismianto, Parlindungan Manik  
Program studi S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Email: [rumapea90@gmail.com](mailto:rumapea90@gmail.com)

## Abstrak

Pemodelan pada kemudi merupakan hal yang penting dilakukan untuk menciptakan kemudi dengan hambatan yang kecil sehingga mampu mengurangi pemakaian *Horse Power* dengan akibat penghematan bahan bakar. Salah satu cara yang digunakan untuk mengurangi hambatan kemudi kapal adalah penambahan *fin* pada kemudi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai *drag* yang paling kecil untuk kemudi KCS. Variasi yang digunakan yaitu perbedaan jumlah *fin* yang digunakan pada *rudder* yaitu 1-3 *fin* dengan panjang *chord fin* sebesar 36 % dari panjang *chord* kemudi. Peneliti menggunakan *software ansys CFX* dengan menggunakan metode CFD dalam mencari nilai nilai yang dibutuhkan. Berdasarkan hasil analisa didapatkan nilai *drag* pada kemudi tanpa menggunakan *fin* sebesar 1305,3 kN, nilai *drag* untuk kemudi dengan 1 *fin* sebesar 1242,8 kN, nilai *drag* pada kemudi dengan 2 *fin* sebesar 473,6 kN dan nilai *drag* pada kemudi dengan 3 *fin* sebesar 849,9 kN. Kemudi dengan nilai *drag* paling rendah adalah kemudi dengan menggunakan 2 *fin*, dimana perubahan nilai *drag*nya sebesar 64 % dari nilai *drag* kemudi tanpa menggunakan *fin*, sehingga dengan hasil ini, kemudi dengan menggunakan 2 *fin* merupakan kemudi dengan nilai *drag* paling optimal dengan nilai *drag* sebesar 473,6 kN dan mempunyai nilai rasio L/D tertinggi yaitu sebesar 8,16.

**Kata Kunci :** *Propeller, Rudder, Fin, CFD*

## 1. PENDAHULUAN

Salah satu tujuan utama dalam mendesain kapal adalah untuk memiliki sistem hemat energi dengan tahanan yang lebih rendah dan sistem propulsi yang lebih baik. Ini memastikan bahwa kapal akan memiliki kecepatan yang dikehendaki dengan menggunakan daya yang seminimal mungkin. Seperti diketahui, bahwa setiap benda yang bergerak akan mengalami gaya lawan (*resisting force*) yang biasa disebut sebagai tahanan. Suatu bentuk kapal dengan tahanan yang kecil adalah menjadi tujuan perencanaan, sebab akan berarti pemakaian *Horse Power* menjadi hemat dengan akibat penghematan bahan bakar.

Hambatan kapal merupakan gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa sehingga melawan gerakan kapal tersebut. Ada banyak hambatan yang terjadi pada kapal. Salah satu hambatan yang terjadi di dalam kapal adalah hambatan kemudi. Ini terjadi akibat dari pemakaian kemudi.

Oleh karena itu muncul ide untuk meneliti pengaruh penambahan *fin* pada *rudder* terhadap pengurangan hambatan kemudi kapal sehingga akan diperoleh jumlah *fin* yang tepat untuk dapat mengoptimalkan pengurangan hambatan tersebut.

*Rudder fin* merupakan *fin* yang dipasang pada *rudder* yang bertujuan mengurangi hambatan kemudi. Dengan adanya tambahan *fin* tersebut akan menimbulkan gaya angkat yang akan mempengaruhi pengurangan hambatan kemudi kapal.

Penelitian ini adalah untuk menganalisa performa yang dihasilkan akibat penambahn *fin* pada daun kemudi dengan menggunakan 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* dan kemudi tersebut.

Dalam penyusunan penelitian 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 Kemud : Semi Menggantung  
 Tinggi Kemudi : 9,9 m  
 NACA : 0018

2. Tidak Berikut adalah ukuran *fin*  
 Jenis fin :NACA0010  
 Max. Thickness :0,2 m  
 Chord Length :2 m  
 Span Length :4 m
3. Variasi *fin* yang digunakan yaitu 1 sampai dengan 3 fin.
4. Hanya menganalisa distribusi aliran fluida yang ada dibelakang propeller.
5. Penelitian yang dilakukan mengabaikan faktor gelombang dan kecepatan angin.
6. Penelitian ini dilakukan menggunakan simulasi computernyaitu menggunakan metode CFD dan software yang digunakan adalah ANSYS CFX.
7. Analisa biaya tidak diperhitungkan.

Berdasarkan latar belakang dan pembatasan masalah diatas, maka tujuan penelitian ini adalah:

- a. Mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan *fin* pada rudder untuk mengurangi hambatan kemudi kapal.
- b. Menentukan jumlah *fin* yang tepat untuk mendapatkan kemudi seminimal mungkin.

**2. 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

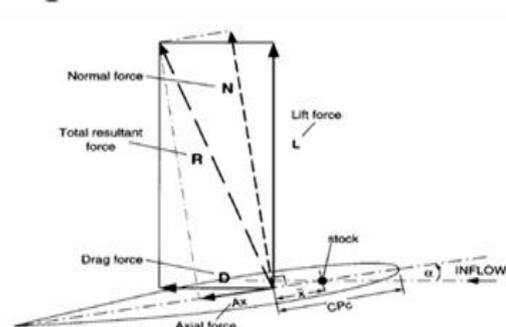
**2.2. Gaya Geser (Drag) dan Gaya Angkat (Lift)**

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* diubah arahnya sehingga membentuk sudut *a* (*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:

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

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

$$C_N = \frac{FN}{\frac{1}{2} \rho U^2 AR} = C_L \cos \alpha + C_D \sin \alpha$$



**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 di-generalised 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*, ft/s
- D = diameter *propeller*, ft
- n = putaran *propeller*, rev/s
- T = *thrust propeller*, lbf
- Q = *torque propeller*
- $\rho$  = massa jenis fluida (*fluid density*)

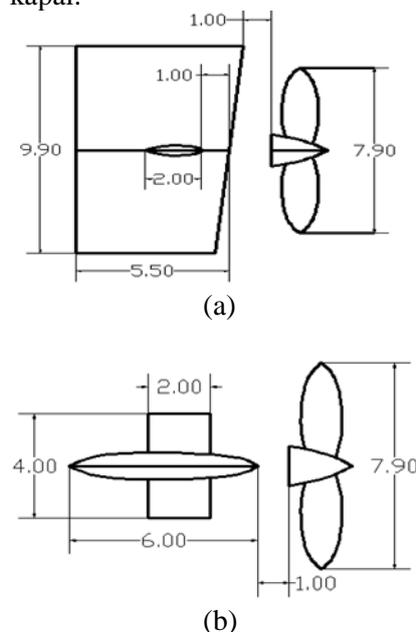
Untuk nilai efisiensi *propeller* pada *open water* diberikan persamaan:

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

## 2.4. Rudder Fin

*Rudder Fin* merupakan *fin* yang dipasang pada *rudder* yang bertujuan untuk mengurangi hambatan pada kemudi kapal.

*Rudder Fin* dapat menghemat biaya dan merupakan salah satu cara untuk dapat menjaga lingkungan karena dapat mengurangi konsumsi bahan bakar dan mengurangi gas emisi. *Rudder fin* sangat mudah dipasang untuk kapal –kapal baru tanpa mengubah sedikitpun bagian dari kapal.



Gambar 2. System Layout of Rudder Fins

## 2.5. Computational Fluid Dynamic (CFD)

*Computational Fluid Dynamics* (CFD) 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.

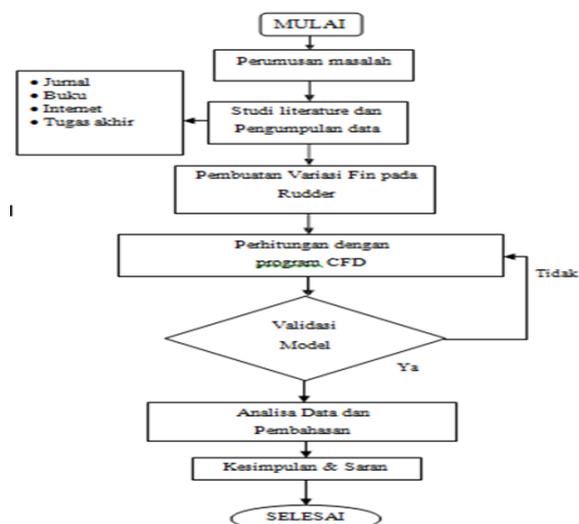
Aplikasi dari CFD untuk penyelesaian masalah aliran pada *propeller* telah mengalami kemajuan cukup pesat pada akhir-akhir ini. Bahkan pada saat ini teknik CFD merupakan bagian dari proses desain dalam diagram spiral perancangan.

*Computational Fluid Dynamics* terdiri dari tiga elemen utama yaitu:

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

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

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:

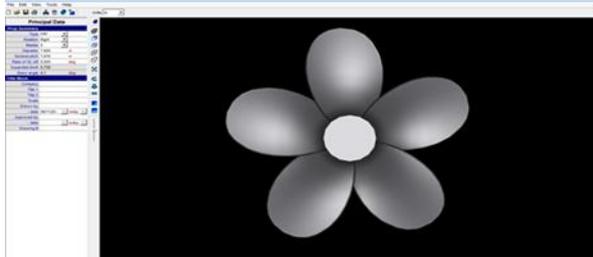


**Gambar 3.** Diagram alir penelitian  
**4. PERHITUNGAN DAN ANALISIS DATA**

**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*.

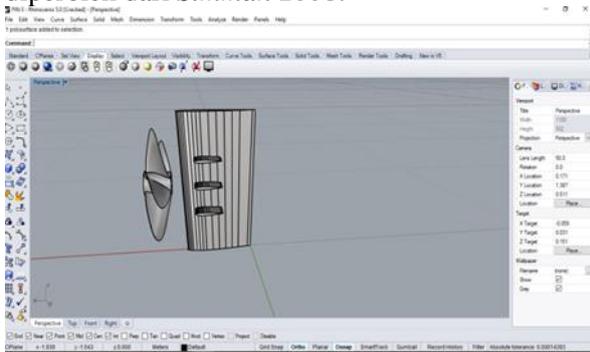


**Gambar 4.** Pemodelan Propeller menggunakan Propcad

Dari data ukuran utama pada Tabel 2 dilakukan pemodelan dibantu dengan perangkat lunak *AutoCAD 2012* dan *Maxsurf Pro 11.1.1.2*. Hasil pemodelan diekspor dalam bentuk *file .iges* terlebih dahulu kemudian dibuka di *software CFD* untuk dilakukan analisa.

**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 5.** Pemodelan Kemudi menggunakan Software Rhinoceros

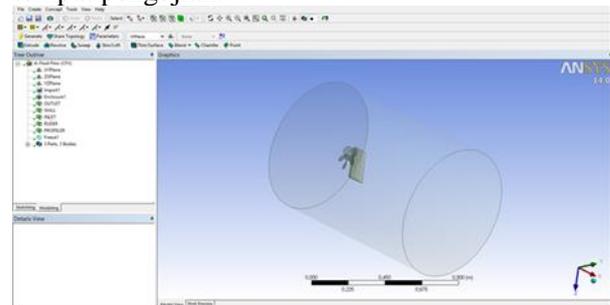
**4.1.3 Simulasi Computational Fluid Dynamic**

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**

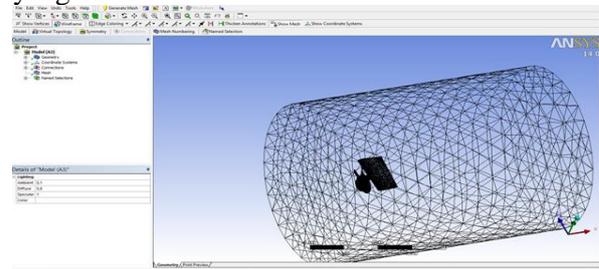
*Geometry* merupakan langkah awal dimana pengecekan solid tidaknya model. Pada tahap ini juga dilakukan pembuatan domain fluida tempat pengujian.



**Gambar 6.** Boundary building model pada tahap Geometry

**b.Meshing**

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



**Gambar 7.** Hasil Meshing

### c. Setup

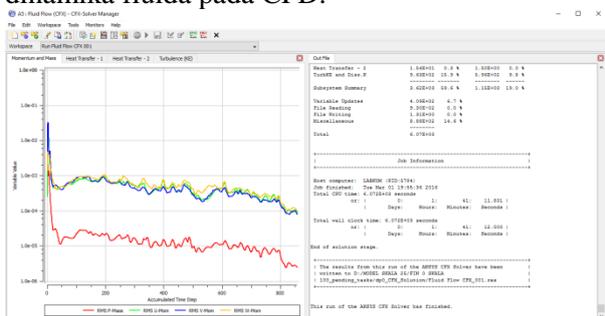
Pada tahap setup ini adalah membuat pengaturan yang akan digunakan untuk memvalidasikan hasil uji coba model yang sudah ada.

Domain - B541	
Type	Fluid
Location	B541
<b>Materials</b>	
Water	
Fluid Definition	Material Library
Morphology	Continuous Fluid
<b>Settings</b>	
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 8. Setup yang digunakan

### d. Solution

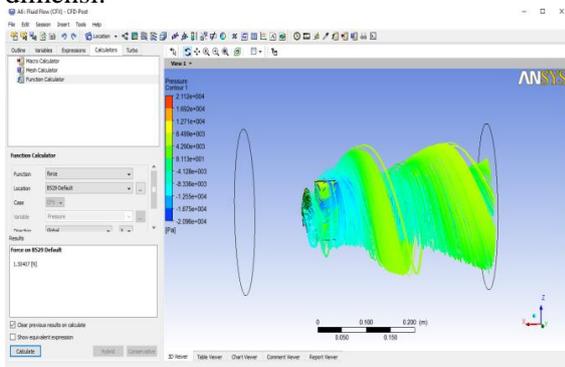
Dalam tahap ini proses perhitungan (*running*) dilakukan berupa literasi dari persamaan dasar dinamika fluida pada CFD.



Gambar 9. Tahap Solution

### e. Result

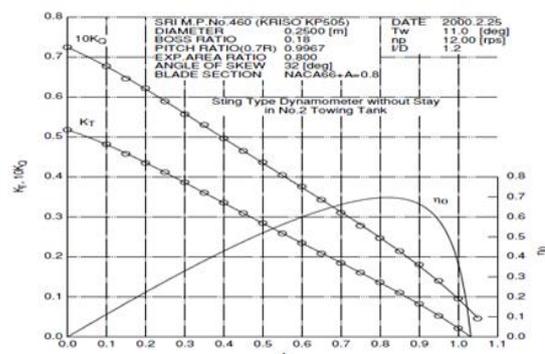
Pada penelitian ini hasil yang diinginkan berupa nilai drag dan lift pada kemudi, kemudian di visualisasi aliran berupa 2 dimensi maupun 3 dimensi.



Gambar 10. Tahap Result

### 4.1.4 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 jumlah fin pada kemudi 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/m<sup>3</sup>)
- 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 1. Perbandingan hasil uji coba dengan simulasi CFD.

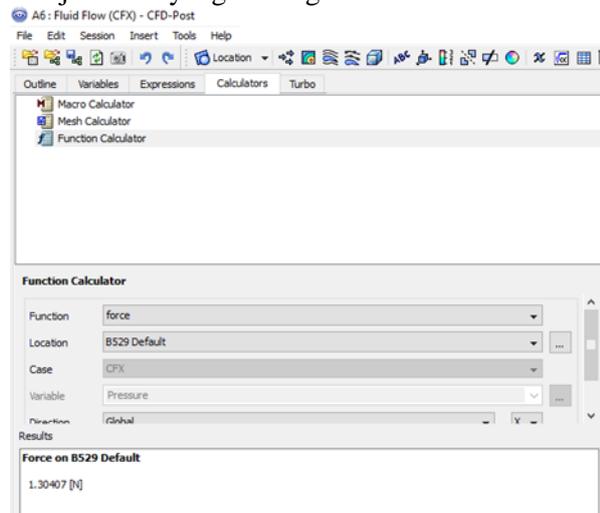
Kecepatan Rotasi (rpm)	Hasil Perhitungan KT	Hasil simulasi CFD	Errorr (%)
500	0,465	0,468	0,6

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.

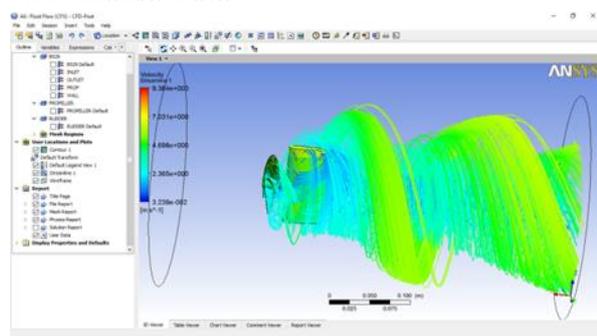
#### 4.1.5 Perhitungan *Drag* dan *Lift* pada Rudder

Perhitungan *Drag* dan *Lift* 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.

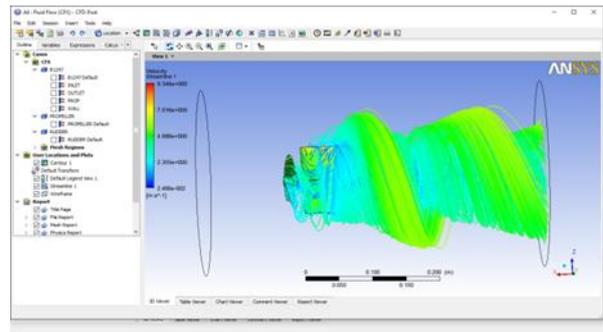


Gambar 12. Pengambilan data

## 4.2. Analisa Data



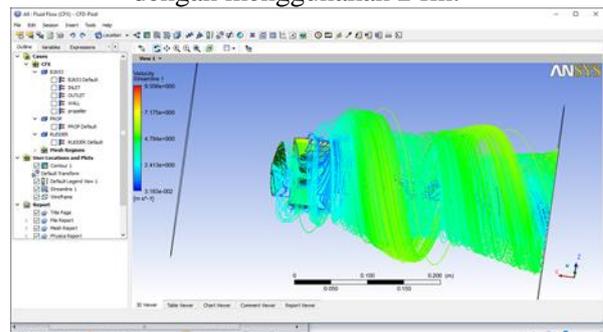
Gambar 13. Streamline velocity pada kemudi tanpa menggunakan fin.



Gambar 14. Streamline velocity pada kemudi dengan menggunakan 1 fin.



Gambar 15. Streamline velocity pada kemudi dengan menggunakan 2 fin.



Gambar 16. Streamline velocity pada kemudi dengan menggunakan 3 fin.

## 4.3. Pembahasan

### 4.3.1 Analisa CFX

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

Tabel 2: Variasi jumlah fin beserta nilai *drag* dan koefisien *drag rudder*

Jumlah Fin	Drag (kN)	Koefisien Drag
Tanpa fin	1305,3	0,138
1 fin	1242,8	0,119
2 fin	473,6	0,041
3 fin	849,9	0,068

Tabel 3: Variasi jumlah fin beserta nilai *lift* dan koefisien *lift rudder*

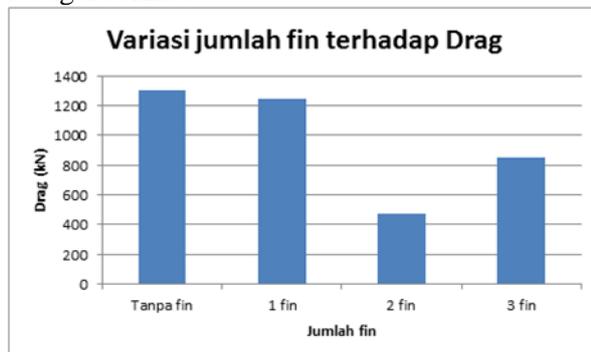
Jumlah Fin	Lift (kN)	Koefisien Lift
Tanpa fin	3515,3	0,373
1 fin	3971,8	0,382
2 fin	3869,1	0,340
3 fin	3168,4	0,256

Tabel 4: Korelasi Lift dan Drag

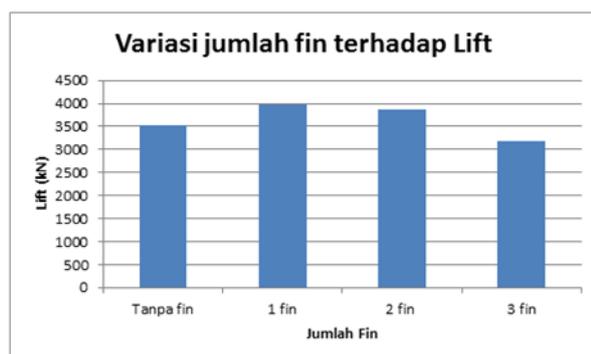
Jumlah Fin	L/D
Tanpa fin	2,69
1 fin	3,19
2 fin	8,16
3 fin	3,72

Pada tabel variasi jumlah fin beserta nilai drag dan nilai lift rudder menunjukkan hasil perhitungan nilai drag dan nilai lift pada setiap variasi jumlah fin. Dari tabel hasil perhitungan tersebut dapat dilihat hasil nilai maximum dan minimum dari drag rudder dan lift pada rudder. Adapun nilai minimum pada drag didapatkan sebesar 473,6 kN pada kemudi dengan jumlah 2 fin. dan nilai gaya lift yang minimum didapatkan sebesar 3168,4 kN pada kemudi dengan jumlah 3 fin.

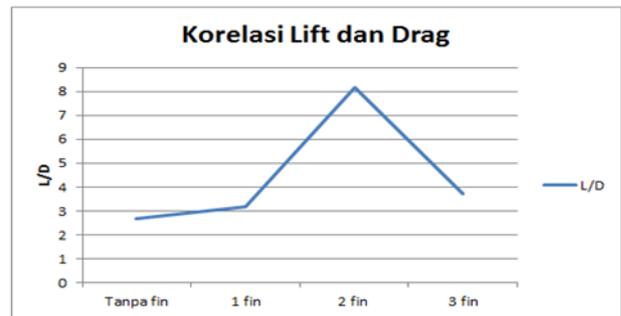
Dari data diatas maka dapat di bentuk diagram sebagai berikut:



Gambar 17. Variasi jumlah fin terhadap *Drag*



Gambar 18. Variasi jumlah fin terhadap *Lift*



Gambar 19. Grafik Korelasi *Lift* dan *Drag*

## 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

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

1. Adanya penambahn *fin* mampu mempengaruhi hambatan kemudi kapal yaitu dengan pengurangan nilai *drag* pada setiap kemudi dengan variasi jumlah *fin*.
2. Dari variasi percobaan jumlah *fin* dari 1 *fin* sampai 3 *fin* diketahui bahwa jumlah *fin* yang paling optimal adalah kemudi dengan jumlah 2 *fin* yaitu dengan drag sebesar 473,6 kN dengan perubahan nilai *drag* sebesar 64 % dari nilai drag kemudi tanpa menggunakan *fin* dan mempunyai rasio L/D tertinggi sebesar 8,16.

### 5.2 Saran

1. Perlunya dilakukan kajian lebih mendalam lagi untuk masing-masing instalasi *fin* pada *rudder* dalam segi sudut masuk pemasangan *fin* dan ketebalan *fin* serta sudut *rake* kemudi yang berbeda.
2. Diperlukan komputasi yang tinggi dalam analisa CFD.
3. Penelitian selanjutnya dapat menambahkan jenis NACA kemudi dan *fin* yang berbeda serta jumlah *fin* yang berbeda.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Guo Chunyu, Huang Sheng .2007. *Numerical Simulation of Unsteady Flow Around Propeller and Rudder with Additional Thrust Fin*. Journal of Harbin Engineering University, 28(359-262). (in Chinese).
- Guo,Chunyu and Huang Sheng.2010.*Using RANS to Simulate the Interaction and overall Performance of Propellers and Rudders with Thrust Fins*. Journal of Harbin Engineering University, 9, 323-327. (in Chinese).
- Manik, Parlindungan, 2008, *Buku Ajar Propulsi Kapal*, Jurusan Teknik Perkapalan, UNDIP: Semarang
- Lackenby, H., 1950. On The Systematic Variation of Ship Forms. *Transactions of The Institute of Naval Architects*, 92, pp.289–316.
- Min,Keh-Sik and Bong-Jun Chang .2005. *Thrust Fin for Ships*. [Hyundai Heavy Industries Co](#):Seoul.
- Mori, Masahiko and Yoshio Otagaki.1985.*Rudder with Wings and Method for Manufacture Thereof*. Kabushi Kaisha : Tokyo.
- Kasahara Yoshikazu and Yukihiro Okomato. 1991.*Ship's Rudder*. NKK Corporation : Tokyo.