

KOMPARASI DESAIN DAN ANALISA PERFORMA MANUVER PADA DAUN KEMUDI KOVENSIONAL DENGAN DAUN KEMUDI EKOR IKAN MENGGUNAKAN METODE CFD (COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC)

Afriandi Ginting¹, Hartono Yudo¹, Untung Budiarto¹

¹)Program Studi S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Indonesia

Email: afriandiginting@gmail.com

Abstrak

Permodelan pada kemudi merupakan hal yang penting dilakukan untuk menciptakan kemudi yang memiliki tingkat responsibilitas bermanuver yang baik. Saat ini telah ditemukan inovasi desain kemudi baru yang dinilai mampu meningkatkan kemampuan olah gerak kapal, yaitu kemudi ekor ikan. Kemudi ekor ikan ini dilatarbelakangi atas dasar bentuk kemudi yang telah ada (berbentuk persegi panjang maupun trapesium), baik kemudi gantung maupun duduk. Seperti diketahui, kemudi pada kapal seperti sebuah ekor ikan, kita tahu bahwa ikan mempunyai kapabilitas manuver sangat baik, dan oleh karena itulah inovasi kemudi ekor ikan ini di kembangkan. Pemilihan bentuk ekor ikan yang digunakan juga berdasarkan pada prinsip aliran pada belakang propeller yang disimpulkan bahwa kecepatan aliran pada daerah atas baling-baling adalah yang paling besar dan akan menurun mendekati nol pada boss baling-baling. Bentuk ekor ikan yang digunakan ialah berbentuk *forked* dan *lunate* dan membandingkan dengan kemudi konvensional dengan variasi sudut 0° , 10° , -10° , 35° , -35° . Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui gaya belok serta nilai bermanuver pada masing-masing rudder. Peneliti menggunakan *software Ansys Fluent 14* untuk mengetahui gaya belok pada rudder dan perhitungan manual untuk menentukan manuver. Berdasarkan hasil analisa, didapatkan bahwa nilai gaya angkat tertinggi didapat pada kemudi ekor ikan bentuk *lunate*, sebesar 13,61 KN pada sudut 0° , 68,47 KN pada sudut 10° , 61,36 KN pada sudut -10° , 209 KN pada sudut 35° dan 214,83 KN pada sudut -35° . Nilai manuver yang baik juga didapat pada kemudi *lunate* dimana nilai dari *Turning Diameter (STD)* pada sudut 35° ialah 122,33m, nilai *Tactical diameter (TD)* 128,98 m, nilai *Advance* 118,54 m dan nilai *Transfer* sebesar 86,30 m sehingga dengan hasil ini, kemudi ekor ikan jenis *Lunate* merupakan kemudi yang paling baik digunakan karena memiliki gaya belok dan kemampuan manuver optimal dibandingkan kemudi konvensional maupun kemudi ekor ikan bentuk *forked*.

Kata kunci : Kemudi, Ekor Ikan, gaya belok, Manuver, CFD

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kecelakaan akibat tabrakan kapal masih terjadi dan salah satu sebabnya adalah karena rendahnya kinerja sistem kemudi kapal, seperti kapal tidak mampu menghindari secara cepat terhadap kapal lainnya yang berjarak relatif dekat di depannya. Oleh karena itu diperlukan olah gerak kapal yang baik agar mampu bermanuver. Salah satu cara untuk meningkatkan olah gerak kapal adalah dengan mengoptimalkan kerja *rudder*.

Rudder atau kemudi pada kapal adalah hal yang sangat penting dalam kontrol permukaan hidrodinamik pada kapal dalam mengontrol gerakan horisontal di kapal. Kemudi memiliki fungsi penting yaitu untuk mengubah arah gerak kapal dengan mengubah arah arus cairan yang mengakibatkan perubahan arah pada kapal. *Rudder* yang baik akan memberikan respon yang

baik terhadap kapal, sehingga kapal dapat memposisikan diri dengan baik.

Saat ini telah ditemukan inovasi desain kemudi baru yang dinilai mampu meningkatkan kemampuan olah gerak kapal, yaitu kemudi ekor ikan. Kemudi ekor ikan ini dilatarbelakangi atas dasar bentuk kemudi yang telah ada (berbentuk persegi panjang maupun trapesium), baik kemudi gantung maupun duduk. Seperti diketahui, kemudi pada kapal seperti sebuah ekor ikan. Kita tahu bahwa ikan mempunyai kapabilitas manuver sangat baik, dan oleh karena itulah inovasi kemudi fishtail ini di kembangkan. Pemilihan bentuk ekor ikan yang digunakan juga berdasarkan pada prinsip aliran pada belakang propeller yang disimpulkan bahwa kecepatan aliran pada daerah atas baling-baling adalah yang paling besar dan akan menurun mendekati nol

pada boss baling-baling[3]. Bentuk ekor ikan yang digunakan ialah berbentuk *forked* dan *lunate* dan membandingkan dengan kemudi konvensional dengan variasi sudut 0° , 10° , -10° , 35° , -35° . Jenis kemudi ekor ikan ini didesain memiliki luas permukaan yang sama dengan kemudi konvensional[8], kemudian dikomparasi agar dapat diketahui besarnya manuver pada masing-masing kemudi untuk dibandingkan seberapa besar pengaruhnya terhadap kemampuan olah gerak kapal dan mana yang sesuai dengan kapal tersebut. Desain rudder tersebut akan di analisa aliran fluida yang terjadi dengan menggunakan metode CFD (Computational Fluid Dynamic).

1.2 Rumusan Masalah

Dengan memperhatikan pokok permasalahan yang terdapat pada latar belakang, maka diambil beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perbandingan nilai *lift* dan *coefficient lift* yang dihasilkan oleh kemudi konvensional dengan kemudi ekor ikan *forked* dan *lunate* dengan menggunakan metode CFD?
2. Bagaimana perbandingan ketiga kemudi terhadap gaya maneuverability kapal?

1.3 Batasan Masalah

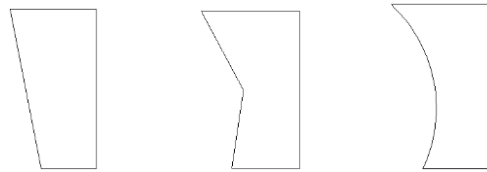
Batasan masalah di gunakan sebagai arahan serta acuan dalam penulisan tugas akhir, sehingga sesuai dengan permasalahan serta tujuan yang di harapkan. Batasan permasalahan yang di bahas dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

Data kapal dan data ukuran kemudi yg digunakan adalah:

| | |
|---------------|--------------|
| Nama kapal | = MV. Sirena |
| Jenis Kapal | = LCT |
| LOA | = 55 m |
| LPP | = 47,5 m |
| Breath | = 13,50 m |
| Depth | = 4 m |
| Draft | = 2,5 m |
| Service speed | = 12 Knot |
| CB | = 0,73 |

Sedangkan untuk kemudi, digunakan kemudi konvensional dengan ukuran sebagai berikut:

| | |
|-------------------|---------|
| Panjang Chord (c) | : 1,3 m |
| Panjang Spam (s) | : 1,7 m |



1. Kemudi Konvensional 2. Kemudi *forked* 3. Kemudi *Lunate*

1. Daun kemudi yang digunakan adalah jenis spade rudder dengan NACA 0012
2. Hanya membandingkan desain yang ada dengan variasi sudut 0° , 10° , -10° , 35° , -35° .
3. Stabilitas dan seakeeping kapal diabaikan
4. Tidak dibahas tentang konstruksi dari desain.
5. Daun kemudi yang dibandingkan adalah daun kemudi konvensional yg dimodifikasi menjadi bentuk ekor ikan hasil simulasi program ANSYS.
6. Analisis biaya tidak diperhitungkan.

1.4. Tujuan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui nilai lift dan coefficient lift yang dihasilkan oleh kemudi konvensional dan kemudi fish tail dengan menggunakan software CFD.
2. Memperoleh data maneuverability kapal dengan kemudi ekor ikan maupun kemudi konvensional.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kemudi Kapal (Rudder)

Kemudi atau rudder adalah perangkat untuk mengubah arah kapal dengan mengubah arah arus cairan yang mengakibatkan perubahan arah kapal. Kemudi ditempatkan diujung belakang lambung kapal/buritan di belakang baling-baling dan digerakkan secara mekanis atau hidraulik dari anjungan dengan menggerakkan roda kemudi. Jenis kemudi ada beberapa yaitu:

1. *Balance rudder*
2. *Spade rudder*
3. *Full skeg rudder*
4. *Semi balance skeg rudder*
5. *Semi balanced aft of skeg or deadwood*
6. *Aft of keel or deadwood (Unbalanced)*
7. *Transform hung-surface piercing*

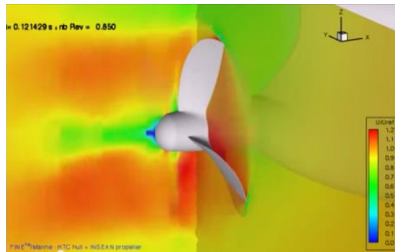
2.2 Kemudi Ekor Ikan

Pada dasarnya ikan memiliki bentuk ekor seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah berikut ini:



Gambar 1. Bentuk Dasar Ekor Ikan

Pada pengujian tugas akhir ini menggunakan bentuk ekor ikan dengan tipe forked dan lanceolate yang di modifikasi. Selain pemilihan modifikasi menyerupai bentuk ekor ikan, digunakan juga prinsip aliran fluida yang ada di depan propeller[3], bahwa kecepatan aliran air pada daerah atas baling-baling memiliki nilai paling besar dan menurun secara gradual mendekati nol pada poros baling-baling serta membesar lagi secara gradual pada daerah bawah baling-baling. Seperti yang ditunjukkan pada simulasi gambar dibawah ini



Gambar 2. Aliran belakang Propeller

2.3 Gaya Belok 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:

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

2.4 Gerak Maneuver Kapal

Untuk menentukan Steady turning radius dengan pengaruh input coefficient lift diperlukan persamaan hidrodinamika. Dengan Metode

selender body strip penurunan persamaan menurut tinjauan pustaka adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Y'_v &= -\pi \left(\frac{T}{L}\right)^2 \times \left[1 + 0.16 \times C_b \times \left(\frac{B}{T}\right) - 5.1 \times \left(\frac{B}{L}\right)^2\right] \\ Y'_v &= -\pi \left(\frac{T}{L}\right)^2 \times \left[1 + 0.4 \times C_b \times \left(\frac{B}{T}\right)\right] \\ Y'_r &= -\pi \left(\frac{T}{L}\right)^2 \times \left[0.67 \times \left(\frac{B}{L}\right) - 0.0033 \times \left(\frac{B}{T}\right)^2\right] \\ Y'_r &= -\pi \left(\frac{T}{L}\right)^2 \times \left[-0.5 + 2.2 \times \left(\frac{B}{L}\right) - 0.08 \times \left(\frac{B}{T}\right)\right] \\ N'_v &= -\pi \left(\frac{T}{L}\right)^2 \times \left[1.1 \times \left(\frac{B}{L}\right) - 0.041 \times \left(\frac{B}{T}\right)\right] \\ N'_v &= -\pi \left(\frac{T}{L}\right)^2 \times \left[0.5 - 2.4 \times \left(\frac{T}{L}\right)\right] \\ N'_r &= -\pi \left(\frac{T}{L}\right)^2 \times \left[\frac{1}{12} + 0.017 \times C_b \times \left(\frac{B}{T}\right) - 0.33 \times \left(\frac{B}{L}\right)\right] \\ N'_r &= -\pi \left(\frac{T}{L}\right)^2 \times \left[0.25 + 0.039 \times \left(\frac{B}{T}\right) - 0.56 \times \left(\frac{B}{L}\right)\right] \end{aligned} \quad (2)$$

Sedangkan nilai force Y yang dihasilkan dari pengaruh rudder dapat dihasilkan secara sederhana dengan persamaan:

$$\begin{aligned} Y'_\delta &= \left(\frac{A_r}{T \times L}\right) \times \left(\frac{T}{L}\right) \times \left(\frac{dCl}{d\delta}\right) \times Cl \times \left(\frac{c}{u}\right)^2 \\ N'_\delta &= 0.5 \cdot Y'_\delta \end{aligned}$$

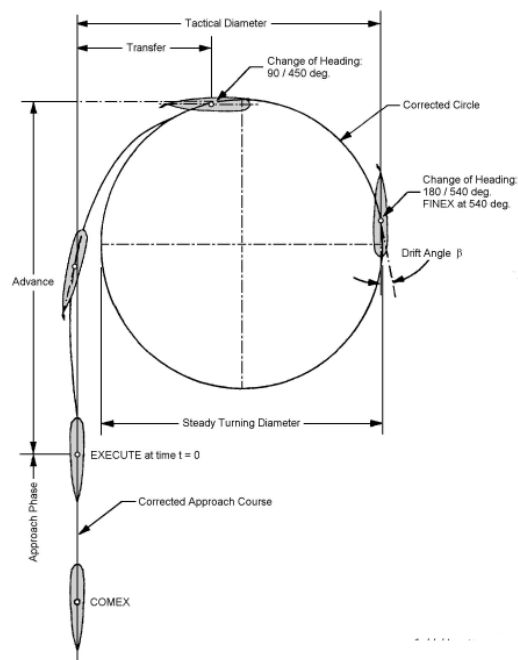
Dan untuk menentukan nilai STD[2], TD, Advance serta Transfer menggunakan rumus[6]:

$$STD = \left(\frac{L}{\delta}\right) \times \left[\frac{(Y'_v \times N'_r - N'_v \times (Y'_r - m'))}{N'_v \times Y'_\delta - Y'_v \times N'_\delta}\right]$$

$$\frac{TD}{L} = 0.14 + 1.0 \times \left(\frac{STD}{L}\right)$$

$$\frac{Ad}{L} = 1.1 + 0.514 \times \left(\frac{TD}{L}\right)$$

$$Tr = 0.375 + 0.531 \times \left(\frac{TD}{L}\right)$$



Gambar 3. Permodelan Turning Test [5]

2.5. Computational Fluid Dynamics

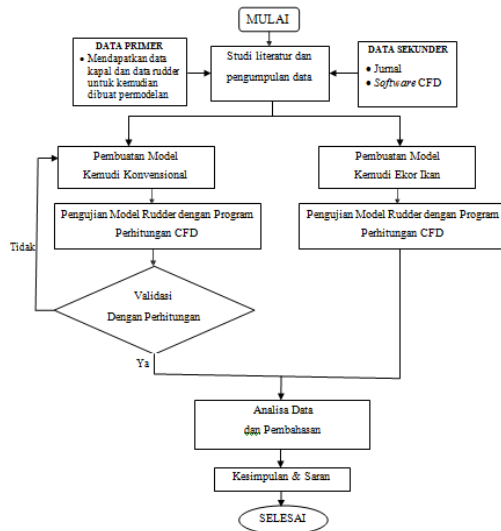
Computational Fluid Dynamics (CFD)[4], merupakan salah satu cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisa permasalahan yang berhubungan dengan aliran fluida. Tujuan dari *CFD* adalah untuk memprediksi secara akurat tentang aliran fluida, perpindahan panas, dan reaksi kimia dalam sistem yang kompleks, yang melibatkan satu atau semua fenomena di atas.

Computational Fluid Dynamics terdiri dari tiga elemen utama yaitu:

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

III. METODOLOGI

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:



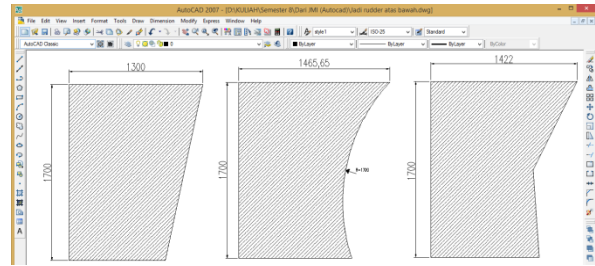
Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

IV. PERHITUNGAN DAN ANALISIS DATA

4.1 Pengolahan Data

4.1.1 Pemodelan Menggunakan Autocad

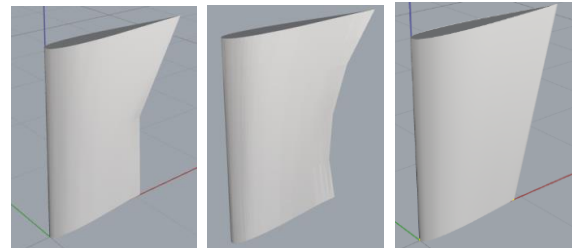
Dari data pengukuran dibuat permodelan dengan menggunakan bantuan *software Autocad 2007*. Berikut ini adalah hasil visualisasi desain pada *software Autocad*.



Gambar 5 Permodelan Kemudi Menggunakan *Software Autocad*.

4.1.2 Pemodelan Menggunakan Rhinoceros

Pembuatan model kemudi menggunakan *software Rhinoceros* dimana model pada *software Autocad*, kemudian dimodelkan ulang dengan pembuatan 3 dimensinya. Pada *software* ini dilakukan pemvariasian model berupa variasi bentuk ekor ikan. Berikut ini adalah hasil visualisasi desain pada *software Rhinoceros*.



Gambar 6. Permodelan Kemudi Menggunakan *Software Rhinoceros*.

4.1.3 Simulasi Computational Fluid Dynamic

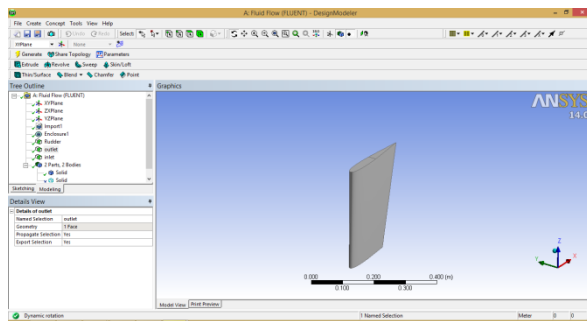
Langkah simulasi numerik pada ANSYS 14.0 pada dasarnya sama dengan jenis *software* lain yang berbasis *Computational Fluid Dynamic*. Pengujian ini menggunakan perhitungan solver *Fluid Flow Analyis (Fluent)*[9]. Secara garis besar langkah – langkah simulasi numerik pada solver ini dibagi menjadi beberapa tahapan antara lain:

- a. *Geometry*
- b. *Mesh*
- c. *Setup*

4.1.4 Tahap Geometry

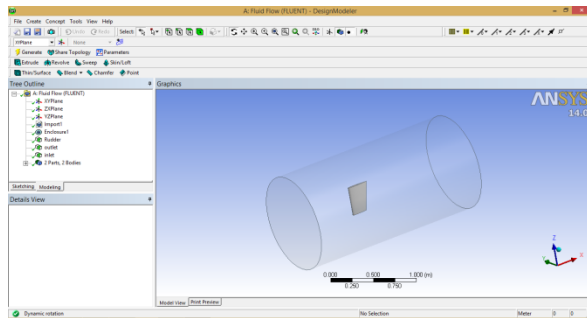
Geometry merupakan langkah awal dimana pengecekan solid tidaknya model. Pada tahap ini juga dilakukan pembuatan domain fluida tempat pengujian. Pada tahap ini perintah yang digunakan adalah file > import external geometry file > enter file model > OK >

generate. Pada Gambar 6 Model akan solid apabila muncul tanda balok.



Gambar 7. Model solid

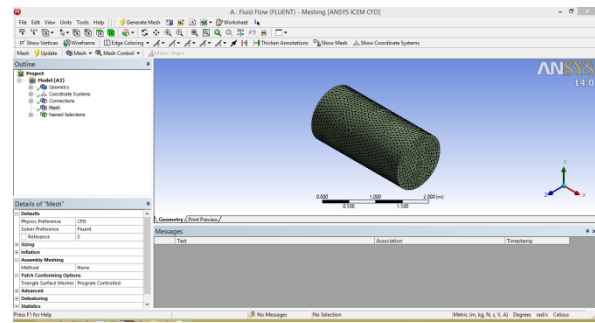
Langkah selanjutnya pembuatan boundary building pada Gambar 7 pada tahap ini langkah pertama yaitu pemilihan XY plan sebagai koordinat.



Gambar 8. Boundary building model pada tahap Geometry

4.1.5 Tahap Mesh

Setelah domain fluida terbentuk langkah selanjutnya adalah melakukan meshing pada model pada Gambar 8 Untuk itu lebih dahulu menentukan ukuran element yang akan kita gunakan. Namun 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 9. Hasil mesh

4.1.6 Tahap Set Up

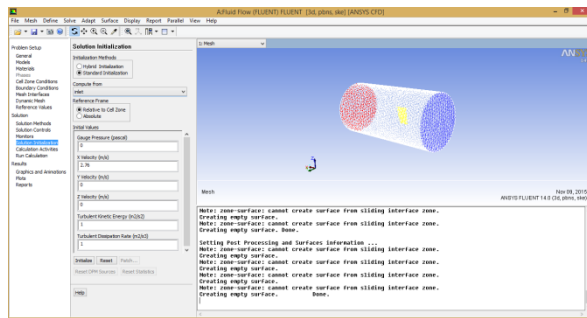
Setup adalah tahapan yang dilakukan setelah mesh berhasil dilakukan. Setup merupakan tahapan yang berisi tentang penentuan hal – hal yang berkaitan dengan simulasi. Gambar 8 Pada tahap ini dibagi menjadi beberapa langkah, antara lain default domain, solver, pembuatan expression, dan lain-lain.

Pada tahap setup ini adalah setup yang digunakan untuk memvalidasikan hasil uji coba model yang sudah ada [3]. dengan perhitungan CFD untuk model yang kemudian setup tersebut akan di adopsi untuk pengujian model bentuk ekor ikan. Berikut adalah setup yang digunakan :

Tabel 2. Boundary Physics

| Domain - Default Domain | |
|--|---|
| Type Location | Fluid CREATED_MATERIAL 7 Materials Water |
| Fluid Definition Morphology | Material Library Continuous Fluid |
| <i>Settings</i> | |
| Buoyancy Model Domain Motion | Non Buoyant Rotation 26 rad/s |
| Reference Pressure Heat Transfer Model | 1.0000e+00 [atm] Isothermal |
| Fluid Temperature Turbulence Model | 2.5000e+01 [C] k epsilon |
| Turbulent Wall Functions | Scalable |

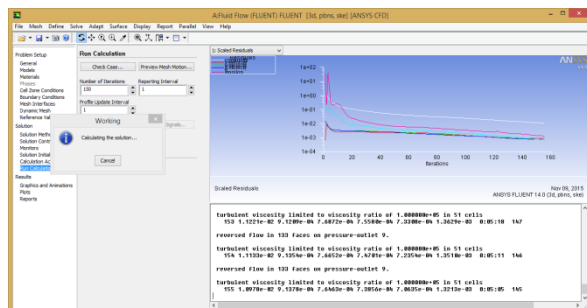
Iterasi yang digunakan adalah 150 iterasi. Iterasi ini digunakan untuk memperoleh konvergensi, yaitu kesesuaian (*matching*) antara input simulasi (kondisi batas dan parameter lain) atau tebakan yang diberikan dengan hasil perhitungan yang diperoleh (*criteria output*). Semakin kecil konvergensi maka hasil yang diperoleh semakin akurat [4].



Gambar 10. Domain pada setup

4.1.7 Tahap Solution

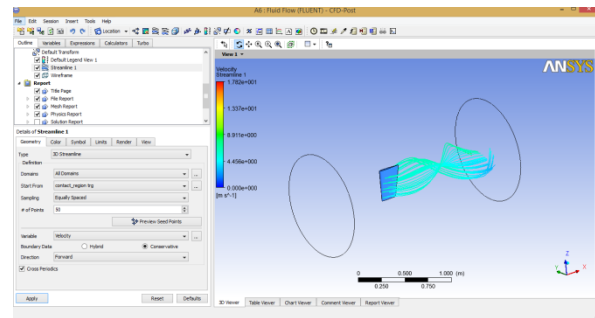
Setelah setup selesai di program, tahap selanjutnya adalah solution pada Gambar 10. Dalam tahap ini proses perhitungan (*running*) dilakukan berupa literasi dari persamaan dasar dinamika fluida pada CFD.



Gambar 11. Grafik perhitungan (*running*)

4.1.8 Tahap Results

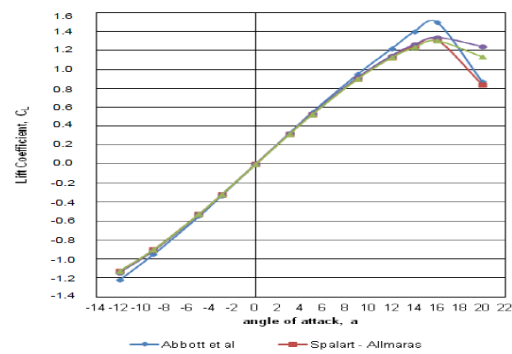
Setelah proses *running* atau simulasi selesai maka hasilnya dapat kita lihat di tahap solution pada Gambar 11. Pada tugas akhir ini hasil yang diinginkan berupa nilai lift force model dan visualisasi aliran berupa 3 dimensi.



Gambar 12. Visualisasi aliran

4.1.9 Validasi

Pada penelitian ini untuk memvalidasi hasil dari uji model, menggunakan rumus gaya belok (*Lift*). Validasi digunakan untuk menentukan apakah hasil analisa memiliki nilai yang valid jika nilai *running* CFD dibandingkan dengan perhitungan manual. Berikut data untuk di validasi :



Gambar 13. Grafik *Coefficient Lift* dari NACA 0012[5]

$$F = \frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \times Cl \times A$$

- F = gaya (N)
- A = luas area kemudi (m²)
- V = kecepatan fluida (m/s)
- ρ = massa jenis air laut (kg/m³)
- Cl = koefisien angkat/koefisien belok
- F = $\frac{1}{2} \times 1025 \times 6^2 \times 0,9 \times 4,1$
= 68080 N

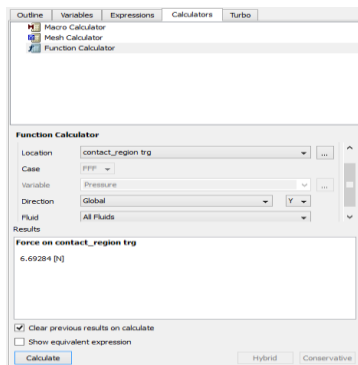
Pada simulasi CFD model kemudi konvensional dengan sudut serang 10° didapat hasil nilai = 61617 N

Maka didapatkan eror sebesar 9,49 %

Dari hasil perhitungan CFD yang di bandingkan dengan hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa parameter setup pada perhitungan CFD cukup mendekati maka parameter setup tersebut akan digunakan pada perhitungan CFD untuk gaya lift pada kemudi yang di modelkan.

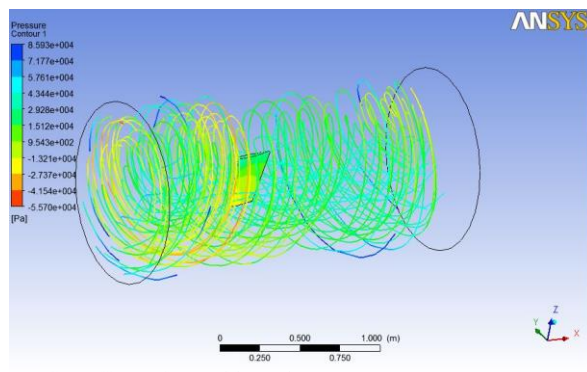
4.1.10 Perhitungan Force

Perhitungan force pada model dengan metode *Computational Fluid Dynamic* pada *post processor* (hasil running) diambil dari tahap *results* yaitu pada *function calculator*, *function* yang di inginkan yaitu *force*. *Location* merupakan pemilihan area yang ingin di ketahui nilainya . Kemudian dari data tersebut kita olah sehingga menjadi data yang matang.

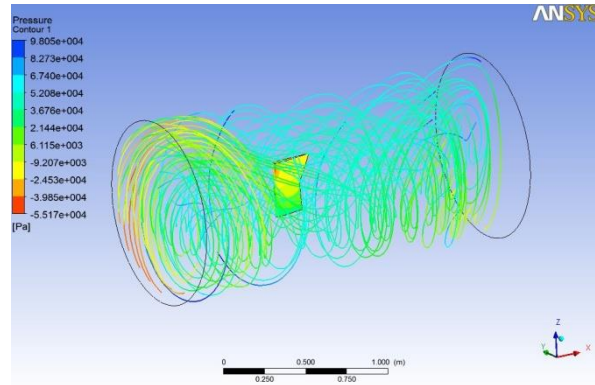


Gambar 14. Pengambilan data

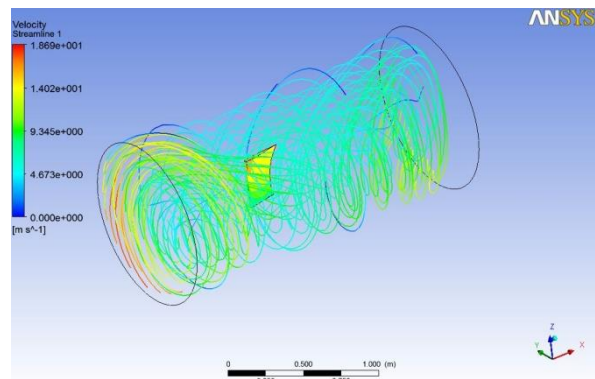
4.2 Analisa Data



Gambar 15. Streamline Velocity pada Model 1 Kemudi Konvensional Sudut serang 10°



Gambar 16. Streamline Velocity pada Model Kemudi Ekor Ikan *forked* Sudut serang 10°



Gambar 17. Streamline Velocity pada Model Kemudi Ekor Ikan *Lunate* Sudut serang 10°

Dari hasil running simulasi pada Gambar 15 sampai dengan gambar 17 menunjukkan fenomena *Streamline velocity* dan *Pressure Contour* pada model yang berbeda. Dan pada model Kemudi Ekor Ikan *Lunate* mempunyai tekanan yang lebih besar di bandingkan dengan model lain.

4.3 Pembahasan

4.3.1 Data hasil running CFD

Setelah proses running dinyatakan complete, nilai Lift dari kemudi didapatkan. Untuk menentukan nilai dari coefficient lift digunakan persamaan[9] :

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

Dari proses running program CFD didapatkan nilai lift dan coefficient lift dari masing-masing kemudi dapat diketahui dibawah:

Tabel 3. Data *Lift* dan *Coefficient Lift*

| No. | Jenis Kemudi | Sudut Kemudi | Lift (KN) | CL |
|-----|------------------|--------------|-----------|------|
| 1 | Konvensional | -35 | 119,42 | 1.57 |
| 2 | | -10 | 59,62 | 0.79 |
| 3 | | 0 | 3,78 | 0.05 |
| 4 | | 10 | 61,61 | 0.81 |
| 5 | | 35 | 110,27 | 1.45 |
| 6 | Ekor Ikan Forked | -35 | 200,46 | 2.65 |
| 7 | | -10 | 58,96 | 0.78 |
| 8 | | 0 | 12,1 | 0.16 |
| 9 | | 10 | 61,29 | 0.81 |
| 10 | | 35 | 199,7 | 2.64 |
| 11 | Ekor Ikan Lunate | -35 | 214,48 | 2.84 |
| 12 | | -10 | 61,54 | 0.81 |
| 13 | | 0 | 13,61 | 0.18 |
| 14 | | 10 | 68,47 | 0.9 |
| 15 | | 35 | 209,53 | 2.77 |

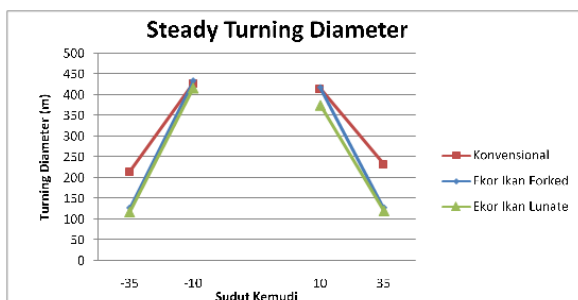
4.3.2 Data Manuevering Kapal

Dengan input masing-masing nilai coefficient lift dan persamaan manuevering diatas, maka didapatkan nilai dari maneuverability kapal dengan masing-masing jenis kemudi[7] seperti ditunjukkan pada table dibawah ini:

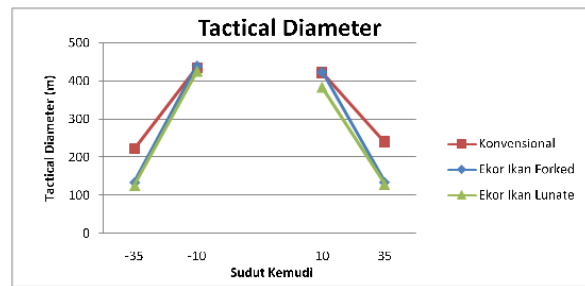
Tabel 4. Data Nilai *Manuever* Kapal

| No. | Jenis Kemudi | Sudut Kemudi | STD (m) | TD (m) | Ad (m) | Tr (m) |
|-----|------------------|--------------|---------|--------|--------|--------|
| 1 | Konvensional | -35 | 215.83 | 222.48 | 166.6 | 135.95 |
| 2 | | -10 | 428.95 | 435.6 | 276.15 | 249.12 |
| 3 | | 10 | 416.3 | 422.95 | 269.05 | 242.4 |
| 4 | | 35 | 233.69 | 240.34 | 175.78 | 145.43 |
| 6 | Ekor Ikan Forked | -35 | 127.86 | 134.51 | 121.39 | 89.24 |
| 8 | | -10 | 434.45 | 441.1 | 278.97 | 252.03 |
| 9 | | 10 | 418.36 | 425.01 | 270.71 | 243.49 |
| 10 | | 35 | 128.36 | 135.01 | 121.64 | 89.5 |
| 11 | Ekor Ikan Lunate | -35 | 119.3 | 125.95 | 116.99 | 84.69 |
| 12 | | -10 | 418.36 | 425.01 | 270.7 | 243.49 |
| 14 | | 10 | 376.5 | 383.18 | 249.2 | 221.28 |
| 15 | | 35 | 122.33 | 128.98 | 116.99 | 84.69 |

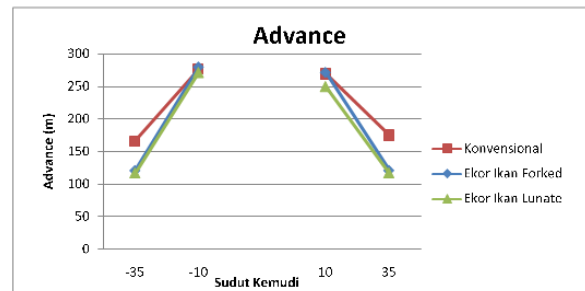
Dari hasil analisa diatas maka dapat dibuat grafik sebagai berikut:



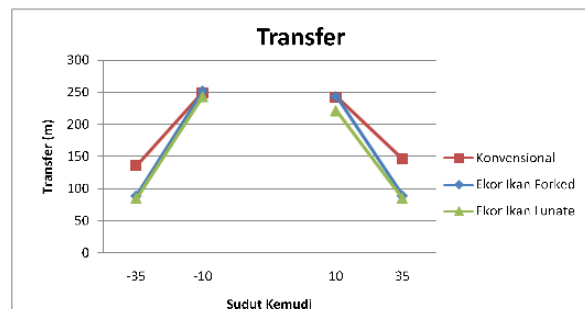
Gambar 18. Grafik Perbandingan *Steady Turning Diameter*



Gambar 19. Grafik Perbandingan *Tactical Diameter*



Gambar 20. Grafik Perbandingan *Advance*



Gambar 21. Grafik Perbandingan *Transfer*

Dari penyajian gambar dan tabel di atas pada tabel 4 dan pada gambar grafik 18 sampai gambar grafik 21 dapat diketahui peningkatan maupun penurunan nilai komponen *Manueverability* terhadap modifikasi bentuk kemudi pada beberapa nilai sudut kemudi.

1. Nilai Steady Turning Diameter maupun Tactical Diameter untuk sudut $-10^{\circ}, 10^{\circ}$ pada kemudi konvensional memiliki nilai yang hampir mirip dengan kemudi ekor ikan *forked*, tetapi memiliki perbedaan sekitar 9% pada kemudi ekor ikan *lunate*. Pada sudut $35^{\circ}, -35^{\circ}$ kemudi ekor ikan *forked* memiliki perbedaan sebesar 45% dan 47% pada kemudi ekor ikan *lunate* jika dibandingkan dengan konvensional.

2. Nilai Advance dan Transfer untuk sudut 10^0 , -10^0 pada kemudi konvensional memiliki nilai yang hampir mirip dengan kemudi ekor ikan *forked* dengan perbedaan sekitar 0,6% sedangkan untuk ekor ikan *lunate* memiliki perbedaan sebesar 7%. Pada sudut 35^0 kemudi ekor ikan *forked* memiliki peningkatan sebesar 30% dan 33% pada kemudi ekor ikan *Lunate* jika dibandingkan dengan kemudi konvensional.

V. KESIMPULAN

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

1. Modifikasi bentuk kemudi konvensional terhadap menyerupai bentuk ekor ikan *forked* maupun *lunate* dengan luas area yang sama ternyata membuat perubahan terhadap nilai *Lift* dan *coefficient lift*. Pada sudut 10^0 dan -10^0 terdapat kenaikan nilai *lift* dan *coefficient lift* yang tidak begitu besar pada konvensional dan *forked*, tetapi mengalami kenaikan sebesar 11% pada ekor ikan jenis *lunate*. Sedangkan pada sudut 35^0 dan -35^0 mengalami kenaikan pada *forked* sebesar 81% dan sekitar 83% pada *lunate*.
2. Nilai *maneuverability* pada sudut 35^0 baik ekor ikan *forked* maupun *lunate* mengalami peningkatan nilai Tactical diameter sebesar 47% dan nilai advance sekitar 30% jika dibandingkan dengan kemudi Konvensional dan tidak mengalami perubahan yang signifikan pada ekor ikan *forked* jika dibandingkan dengan kemudi konvensional pada sudut 10^0 tetapi pada kemudi ekor ikan *lunate* mengalami peningkatan nilai Tactical diameter sebesar 9% dan 7% pada nilai Advance.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ansys Fluent 14.0, "Theory Guide", Chapter 4.4: Standart and SST $k-\omega$ turbulent models.
- [2] C.L.Crane, H.Eda and A. Lansburg, "Principles of Naval Architecture", Volume III, Chapter IX, Controllability
- [3] Harvald, Sv. Aa, 1978, *Resistance and Propulsion of Ships*, John Miley and Sons, New York
- [4] Huda, Nurul. 2013. *Analisa pengaruh Energy Saving Device pada Propeller dengan Metode CFD*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Perkapalan, UNDIP: Semarang
- [5] Journée, J.M.J., Pinkster, Jakob. 2012, *INTRODUCTION IN SHIP HYDROMECHANICS*, Delft University of Technology : Netherlands
- [6] Mahaboob, Mohammad, 2014, *Comparative study of Manuevering performance of Conventional and Fishtail rudder of a Ship*, International Journal of Engineering and Technical Research, Andhra University Collage of Engineering : Visakhaptnam.
- [7] Mulyasari, Hardina. 2013. TA. *ANALISIS PENGGUNAAN FLAP PADA MODIFIKASI KEMUDI MENYERUPAI BENTUK EKOR IKAN TERHADAP MANEUVERABILITY KAPAL*. Teknik Perkapalan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
- [8] Van Lammeren, W. P A., Troost, L. & Konig, J. G., 1948, *Resistance Propulsion and steering of ship*, The Technical Publishing Company, Holland.
- [9] Wardana, P.I.K. .2012. TA. *Komparasi Daun Kemudi terhadap Gaya Belok dengan Pendekatan CFD*. Teknik Perkapalan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).