

# Komparasi Bentuk Daun Kemudi terhadap Gaya Belok dengan Pendekatan CFD

Prima Ihda Kusuma Wardana, I Ketut Aria Pria Utama

Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

*E-mail:* kutama@na.its.ac.id

**Abstrak**— Ditinjau dari distribusi aliran (wake) yang ada di daerah sekitar piringan baling-baling dan distribusi kecepatan aksial aliran di belakang baling-baling, disimpulkan bahwa kecepatan aliran air pada daerah atas (puncak) baling-baling adalah yang paling besar dan akan menurun secara bertahap mendekati nol pada boss baling-baling. Kemudian secara bertahap kembali membesar ke arah bawah baling-baling sampai kecepatan alirannya mendekati kecepatan kapal. Dengan melihat bentuk distribusi aksial yang menyerupai ekor ikan (kecil pada pusatnya dan membesar pada kedua ujungnya), dibuatlah suatu bentuk kemudi yang menyerupai ekor ikan yang mampu memanfaatkan aliran air secara efektif dan optimal untuk mendapatkan olah gerak kapal yang lebih baik bila dibandingkan dengan bentuk kemudi yang sudah ada. Penelitian dilakukan dengan bantuan software ANSYS dengan memodelkan dua jenis daun kemudi, yaitu kemudi pelat tipe ekor ikan dan kemudi pelat konvensional. Kedua jenis kemudi divariasikan sudut beloknya ke dalam delapan variasi sudut belok, yaitu pada sudut  $-5^{\circ}$ ,  $0^{\circ}$ ,  $5^{\circ}$ ,  $10^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$ ,  $25^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ . Distribusi gaya belok pada masing-masing kemudi pada tiap variasi sudut dapat dilihat setelah simulasi selesai dilakukan. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan hasil analisa numerik yang dikembangkan di Laboratorium Hidrodinamika Indonesia. Data simulasi memiliki kesesuaian hasil dengan data analisa numerik yang membuktikan bahwa kemudi pelat ekor ikan mampu mendistribusikan gaya belok lebih besar dibandingkan dengan kemudi pelat konvensional, sehingga mampu menambah kemampuan manuever kapal.

**Kata Kunci** : kemudi, tipe ekor ikan, gaya belok, tipe konvensional, CFD

## I. PENDAHULUAN

Dalam merancang sebuah kapal perlu memperhatikan peraturan-peraturan yang ada, baik nasional maupun internasional. Salah satunya adalah peraturan IMO (Organisasi Maritim Internasional) "Standards for Ship Maneuverability". Oleh karena itu, prediksi untuk mengetahui performa olah gerak harus dilakukan sejak awal tahap perancangan agar memenuhi persyaratan yang ada. Olah gerak kapal merupakan hal penting karena menentukan keselamatan kapal yang berlayar di laut, terutama di daerah pelayaran yang sempit seperti di pelabuhan. 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. 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, besarnya gaya belok kemudi salah satunya bergantung pada besarnya kecepatan aliran air yang mengenai kemudi. Bila ditinjau distribusi aliran yang ada di daerah sekitar kemudi (piringan baling-baling) dengan istilah wake dan distribusi kecepatan aksial aliran di belakang baling-baling, dapat disimpulkan bahwa kecepatan aliran air pada daerah atas (puncak) baling-baling adalah yang paling besar dan akan menurun secara bertahap mendekati nol pada boss baling-baling dan kemudian secara bertahap kembali membesar ke arah bawah baling-baling sampai kecepatan alirannya mendekati kecepatan kapal [1].

Dengan melihat bentuk distribusi aksial yang menyerupai ekor ikan (kecil pada pusatnya dan membesar pada kedua ujungnya), didesain suatu bentuk kemudi yang menyerupai ekor ikan yang mampu memanfaatkan aliran air secara efektif dan optimal untuk mendapatkan olah gerak kapal yang lebih baik bila dibandingkan dengan bentuk kemudi yang sudah ada. Dengan menambah beberapa buah sirip pada daun kemudi pelat tipe ekor ikan guna menambah rigiditas konstruksi dan pengarah aliran, olah gerak kapal dinilai lebih baik dengan ditandai kemampuan kapal untuk berlayar pada perairan berkelok serta kemampuan lepas kandas pada saat kapal kandas di perairan dangkal.

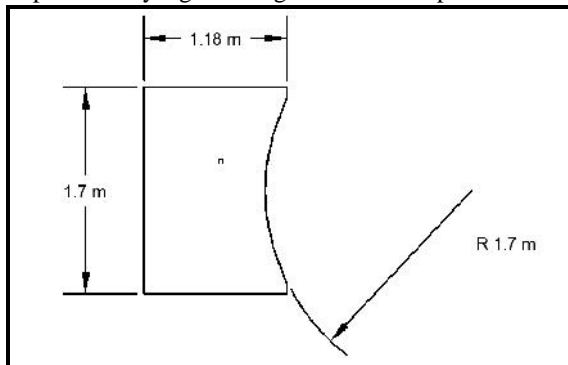
Jenis kemudi ekor ikan ini didesain memiliki luas permukaan yang sama dengan kemudi konvensional, kemudian dikomparasi agar dapat diketahui besarnya gaya belok pada masing-masing kemudi untuk dibandingkan seberapa besar pengaruhnya terhadap kemampuan olah gerak kapal [2].

## II. URAIAN PENELITIAN

Pada penelitian ini, besarnya gaya belok pada tiap-tiap kemudi akan diketahui dengan menggunakan pendekatan CFD. CFD merupakan salah satu cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisa permasalahan yang berhubungan dengan aliran fluida [3].

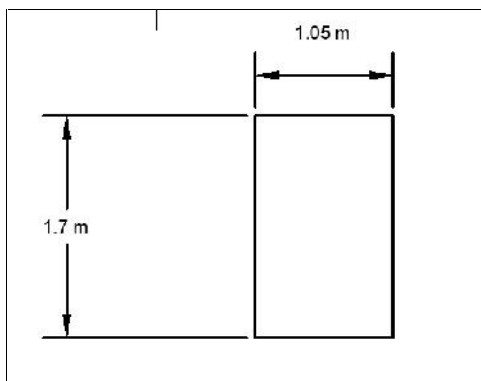
**A. Geometri Kemudi**

Pada penelitian ini kemudi yang digunakan adalah kemudi pelat tipe ekor ikan [4]. Gambar 1 adalah geometri dari kemudi pelat ekor yang akan digunakan dalam penelitian :



Gambar 1. Dimensi kemudi pelat ekor ikan

Luasan kemudi diketahui  $1.785 \text{ m}^2$ . Setelah luasan dari kemudi pelat ekor ikan diketahui, maka geometri dari kemudi pelat konvensional yang digunakan sebagai pembanding juga dapat diketahui. Gambar 2 adalah geometri dari kemudi pelat konvensional :



Gambar 2. Dimensi kemudi konvensional

**B. Pemodelan dan variasi sudut kemudi**

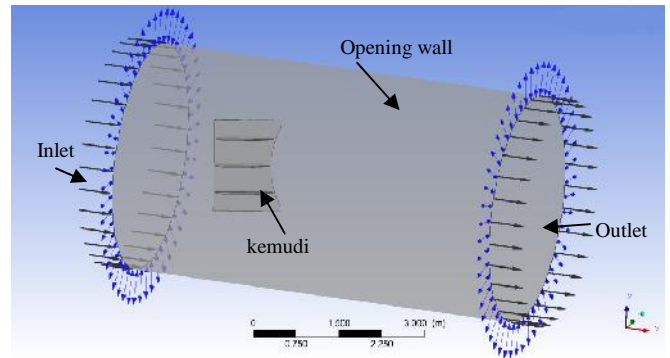
Pemodelan dilakukan dengan menggunakan bantuan software ANSYS ICEM CFD. Pada tahap ini model yang telah dibuat diberi volume, dengan cara memberikan mesh pada permukaan dan kondisi batasnya. Setelah kedua kemudi dimodelkan dan dimeshing, kedua kemudi ini divariasikan menjadi delapan variasi sudut belok, yaitu pada sudut  $-5^{\circ}$ ,  $0^{\circ}$ ,  $5^{\circ}$ ,  $10^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$ ,  $25^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ . Fluida yang melewati kemudi ini diasumsikan memiliki kecepatan angular sebesar 250 rpm dan kecepatan aksial 12 knot.

**C. Pre Processor**

Tahap *pre processor* dilakukan dengan menggunakan bantuan dari software ANSYS CFX. Ada beberapa langkah yang harus dilakukan dan ditentukan pada proses simulasi dengan menggunakan software CFD ini, yaitu :

- Domain

- Inlet
- Outlet
- Wall



Gambar 3. Kondisi batas pada pre processor

Domain merupakan daerah batas atau ruang lingkup fluida dimana fluida tersebut berada dan bekerja, inlet yaitu sebagai saluran masuknya fluida dengan diameter 4 m dengan parameter input berupa aliran fluida memutar dengan kecepatan angular 250 rpm dan kecepatan aksial 12 knot, outlet sebagai saluran keluarnya fluida dan *wall* (dinding pembatas) yang digunakan sebagai batas pada model (kemudi) serta silinder pembatas aliran fluida dengan tipe opening. Hal ini dimaksudkan agar pada saat simulasi fluida tidak memantul kembali menuju model (kemudi) [5].

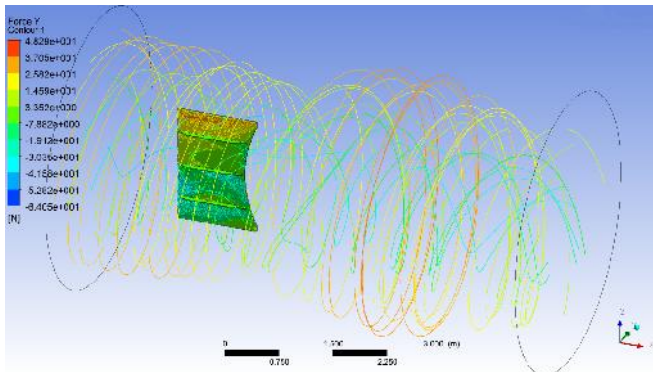
**D. Solver**

Tahap ini dilakukan dengan menggunakan bantuan software yang sama dengan yang digunakan pada tahap *pre processor*. Pada tahap ini tidak ada perubahan pada model, dan dilakukan proses pengolahan data dengan perhitungan numerik menggunakan komputer dari semua parameter-parameter yang telah ditentukan pada domain dan kondisi batas. Dengan kata lain tahap ini merupakan tahap lanjutan dari tahap *pre processor*. Iterasi yang digunakan adalah 100 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 (*kriteria output*). Semakin kecil selisih konvergensi maka hasil yang diperoleh semakin akurat [6].

**E. Post processor**

Tahap ini dilakukan dengan menggunakan bantuan software ANSYS CFD - Post. Pada tahap ini ditampilkan data hasil komputasi pada tahap *solver*. Data yang diperoleh pada tahap ini berupa data numerik dan data visual yang akan dikomparasi sesuai dengan tujuan dari penelitian [7].

Gambar 4 adalah data visual yang didapatkan dari proses *post processor* ini :



Gambar 4. Kontur gaya samping kemudi pada sudut 0°

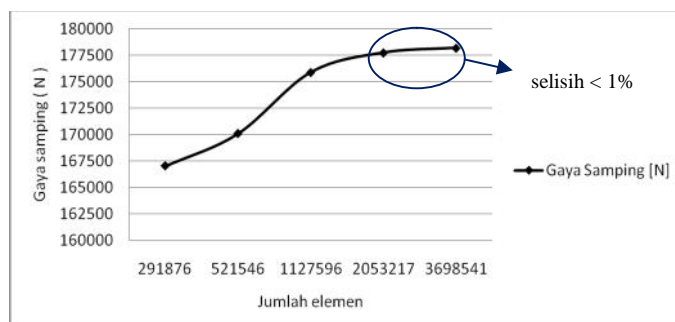
Area yang berwarna merah pada gambar menunjukkan bahwa gaya paling besar dihasilkan pada ujung bagian atas kemudi. Pada data visual juga dapat ditunjukkan besarnya kecepatan yang melewati fluida, akan tetapi pada penelitian ini tidak dibahas secara mendetail bagaimana fenomena fluida pada saat melewati benda kerja (kemudi).

F. Grid Independence

Besarnya jumlah elemen yang kita gunakan dalam perhitungan akan menentukan keakuratan hasil yang didapat karena jumlah elemen juga dapat mempengaruhi perubahan bentuk geometri pada saat dilakukan *definite*. Tetapi tidak selamanya dengan jumlah elemen yang banyak akan menambah keakuratan hasil perhitungan. Dengan demikian pengguna dituntut untuk dapat menentukan jumlah elemen yang optimal, agar waktu dan memori komputer yang terpakai tidak terlalu besar [8]. Berikut ini adalah grafik grid independence dari kemudi pelat ekor ikan dan kemudi pelat konvensional.

Tabel 1. Grid Independence kemudi ekor ikan

Jumlah elemen	Gaya Samping [N]	% Selisih
291876	167025	
521546	170091	1.84%
957258	175876	3.40%
1546826	177735	1.06%
2963548	178186	0.25%

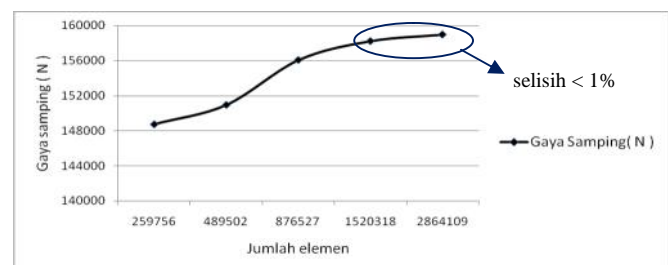


Gambar 5. Grid Independence Kemudi ekor ikan

Dari Tabel 1 diketahui bahwa presentase selisih hasil yang paling kecil adalah 0,3%. Hal ini sudah memenuhi kriteria perhitungan grid independence, dimana selisih grid independence kurang dari 1 %. Pada Gambar 5, kurva grid independence menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah mesh, besarnya gaya samping yang dihasilkan dari proses simulasi juga semakin besar. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin banyak jumlah mesh, akurasi perhitungan hasil simulasi juga semakin akurat.

Tabel 2. Grid Independence kemudi konvensional

Jumlah elemen	Gaya Samping( N )	% Selisih
259756	148738	
489502	150952	1.49%
876572	156072	3.39%
1520318	158226	1.38%
2864109	158971	0.47%



Gambar 6. Grid independence kemudi konvensional

Dari Tabel 2 diketahui bahwa presentase selisih hasil yang paling kecil adalah 0,5%. Hal ini sudah memenuhi kriteria perhitungan grid independence, dimana selisih grid independence kurang dari 1 %. Pada Gambar 6, kurva grid independence menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah mesh, besarnya gaya samping yang dihasilkan dari proses simulasi juga semakin besar. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin banyak jumlah mesh, akurasi perhitungan hasil simulasi juga semakin akurat.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN

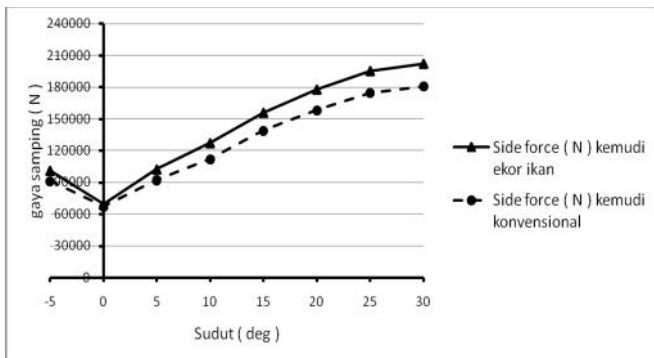
A. Rekapitulasi data komparasi gaya belok

Pada penelitian ini kondisi yang dimasukkan ke dalam input data adalah fluida yang berupa *domain rotating* yang dialirkan melalui inlet dengan kecepatan angular sebesar 250 rpm dan kecepatan aliran sebesar 12 knot, sebagai asumsi bahwa aliran fluida yang masuk merupakan aliran fluida di belakang baling-baling.

Tabel 3. Rekapitulasi data gaya samping kemudi ekor ikan dan kemudi konvensional

No	sudut ( deg )	Gaya Samping ( N )		% penambahan gaya
		Kemudi ekor ikan	kemudi konvensional	
1	-5	101015	91146.4	10.83
2	0	69151.5	67127.8	3.01
3	5	102225	92057.1	11.05
4	10	127088	111948	13.52
5	15	155858	138824	12.27
6	20	177735	158226	12.33
7	25	195303	174361	12.01
8	30	202113	180684	11.86

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa kemudi pelat tipe ekor ikan mampu memberikan gaya belok yang lebih besar dibandingkan kemudi konvensional. Besarnya tambahan gaya belok yang dihasilkan kemudi pelat tipe ekor ikan pada tiap-tiap variasi sudut kurang lebih sebesar 12% dari besar gaya belok yang dihasilkan oleh kemudi pelat konvensional.



Gambar 7. Gaya samping pada kemudi ekor ikan dan kemudi konvensional

Gambar 7 menunjukkan bahwa gaya samping yang dihasilkan kedua jenis kemudi selalu meningkat seiring dengan semakin besar sudut belok kemudi, dan besarnya gaya samping yang dihasilkan oleh kemudi ekor ikan lebih besar daripada gaya samping yang dihasilkan kemudi konvensional. Akhirnya dari analisa yang dilakukan pada kedua jenis daun kemudi dengan delapan variasi sudut belok, dapat disimpulkan bahwa kemudi tipe ekor ikan mampu memberikan gaya belok yang lebih besar dari kemudi konvensional.

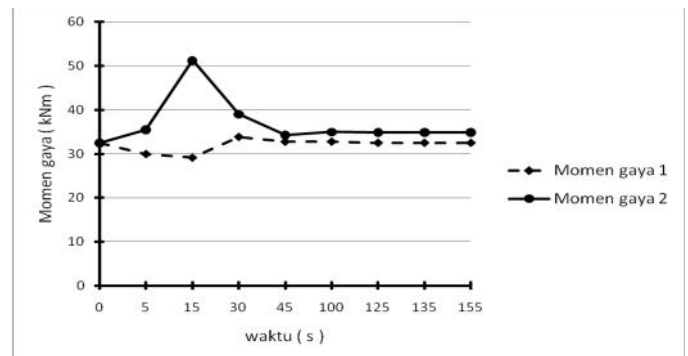
**B. Validasi**

Validasi data dilakukan dengan membandingkan data hasil simulasi menggunakan software dengan data yang telah diketahui sebelumnya, baik itu berupa data hasil eksperimen di lapangan, maupun hasil perhitungan numerik[7]. Pada penelitian ini validasi dilakukan dengan membandingkan data hasil simulasi dengan data hasil perhitungan numerik yang dikembangkan oleh Laboratorium Hidrodinamika Indonesia. Tabel 4 adalah ringkasan dari analisa numeris yang dilakukan.

Tabel 4. Rekapitulasi data perhitungan momen gaya kemudi ekor ikan dan kemudi konvensional [data perhitungan RIT, Laboratorium Hidrodinamika Indonesia]

waktu ( s )	Momen gaya 1 ( kNm )	Momen gaya 2 ( kNm )	% penambahan torsi
0	32.48	32.48	0.00
5	29.95	35.52	18.60
15	29.12	51.26	76.03
30	33.88	39.06	15.29
45	32.78	34.29	4.61
100	32.78	34.95	6.62
125	32.52	34.92	7.38
135	32.52	34.92	7.38
155	32.52	34.92	7.38

Keterangan : Momen gaya 1 = Momen gaya kemudi konvensional  
 Momen gaya 2 = Momen gaya kemudi ekor ikan



Gambar 8. Rekapitulasi analisa perhitungan momen gaya kemudi ekor ikan dan kemudi konvensional

Tabel 4 menunjukkan bahwa kemudi pelat tipe ekor ikan mampu memberikan momen gaya yang lebih besar dibandingkan kemudi pelat konvensional. Dari Gambar 8 dapat dilihat bahwa pada saat detik ke-0, besarnya momen gaya antara kemudi ekor ikan dan konvensional sama, pada detik ke-5 kemudi ekor ikan mengalami peningkatan momen gaya. Sebaliknya, pada kemudi konvensional mengalami penurunan momen gaya. Pada detik ke-15, kemudi konvensional masih mengalami penurunan momen gaya, dan kemudi ekor ikan mengalami kenaikan momen gaya yang cukup signifikan. Hal ini dikarenakan pemberian input data yang mendetail pada perhitungan numeris. Pada detik ke-30 hingga detik ke-155 kedua kemudi menghasilkan momen gaya yang berangsur-angsur konstan sebesar 34 kNm untuk kemudi ekor ikan dan 32 kNm untuk kemudi konvensional.

Sehingga apabila data dari simulasi CFD dibandingkan dengan data analisa numeris, keduanya memiliki kesesuaian hasil. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa kemudi pelat tipe ekor ikan mampu memberikan gaya belok maupun momen gaya yang lebih besar dibandingkan dengan kemudi pelat

konvensional. hal ini diharapkan mampu membantu meningkatkan kemampuan olah gerak kapal.

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

##### A. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan :

1. Semakin besar sudut belok yang diaplikasikan, semakin besar pula gaya belok yang dihasilkan kemudi. Hal ini berlaku pada kemudi pelat ekor ikan maupun kemudi pelat konvensional.
2. Dari proses validasi, data hasil penelitian dengan pendekatan CFD memiliki kesesuaian hasil dengan data hasil penelitian dengan analisa numerik, yaitu kemudi pelat ekor ikan mampu menghasilkan gaya belok maupun momen gaya yang lebih besar bila dibandingkan dengan kemudi pelat tipe konvensional. Dengan ini diharapkan, kemudi ekor ikan mampu meningkatkan kemampuan olah gerak bila diaplikasikan pada kapal.

##### B. Saran

1. Bentuk kemudi yang dibandingkan lebih bervariasi misalnya, kemudi konvensional dengan bentuk trapesium.
2. Penambahan jumlah meshing dan iterasi pada saat proses solver, sehingga didapatkan hasil yang lebih akurat.
3. Menambah pengetahuan mengenai analisa fluida secara numerik, karena bagaimanapun juga software ANSYS hanya sebuah tool penunjang untuk melaksanakan analisa sehingga tetap dibutuhkan pengetahuan lebih agar didapatkan hasil yang benar - benar akurat.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada bapak Setyo Laksono, peneliti di Laboratorium Hidrodinamika Indonesia atas penjelasan mengenai kemudi pelat tipe ekor ikan dan data hasil analisa numerik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Harvald, Sv. Aa., *Resistance and Propulsion of Ships*, John Wiley and Sons, New York, (1978).
- [2] Van Lammeren, W. P. A., Troost, L. & Konig, J. G., *Resistance, Propulsion and steering of ship*. The Technical Publishing Company, Holland, (1948).
- [3] [http://www.cfd-online.com/Wiki/Introduction\\_to\\_CFD](http://www.cfd-online.com/Wiki/Introduction_to_CFD). Dilihat 2010.
- [4] Laksono, S., *Kemudi Pelat Tipe Ekor Ikan*, ID patent 0026155, (2010).
- [5] Anderson, J. D., *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS The basics with Applications*, McGraw-Hill Corporation, Singapore, (1995).
- [6] <http://www.computationalfluidynamics.com.au/?p=303>. Dilihat 2010.
- [7] Versteeg, H. K. & Malalsekera, W., *An Introduction to CFD The Finite Volume Method*, Longman Scientific & Technical, London, (1995).
- [8] Kuzmin, A. (ed.), *Computational Fluid Dynamics*, Springer Verlag, Heidelberg, (2010).