



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**ANALISA KARAKTERISTIK HIDRODINAMIK
PADA HYDROFOIL NACA 0012 DENGAN VARIASI SUDUT
SERANG 0° SAMPAI DENGAN 180° MENGGUNAKAN
COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC (CFD)**

TUGAS AKHIR

**AHMAD HANAFI
L2E 005 417**

**FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN**

**SEMARANG
MARET 2011**

TUGAS SARJANA

Diberikan kepada : Nama : Ahmad Hanafi
: NIM : L2E 005 417

Dosen Pembimbing : I. Ir. Sudargana, MT.


Jangka waktu : April 2010 – Januari 2011

Judul : Analisa Karakteristik Hidrodinamik pada Hydrofoil NACA 0012 Dengan Variasi sudut Serang 0° sampai dengan 180° Menggunakan Computational Fluid Dynamic (CFD)

Isi Tugas :

1. Mengetahui karakteristik Hidrodinamik *hydrofoil* NACA 0012 dan pengaruhnya terhadap *drag coefficient* dan *lift coefficient*
2. Menyusun database dari NACA 0012 berdasarkan variasi sudut serang 0 – 180 dan variasi kecepatan.
3. Melakukan proses simulasi dengan menggunakan software Fluent 6.2.16 dengan input meshing dari Gambit 2.3.16
4. Membuat analisa karakteristik hydrofoil NACA 0012 dengan verifikasi perbandingan dari data literatur.

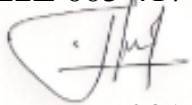
Semarang, Maret 2011
Pembimbing Tugas Sarjana



Ir. Sudargana, MT
NIP. 194811251986031002

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi/Tesis/Disertasi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

NAMA : Ahmad Hanafi
NIM : L2E 005 417
Tanda Tangan : 
Tanggal : Maret 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

NAMA : Ahmad Hanafi

NIM : L2E 005 417

Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Analisa Karakteristik Hydrodinamik pada Hydrofoil NACA 0012
Dengan Variasi sudut Serang 0° sampai dengan 180°
Menggunakan Computational Fluid Dynamic (CFD)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan/Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.





TIM PENGUJI

Pembimbing : Ir. Sudargana, MT

Penguji : Ir. Yurianto, MT

Penguji : Dr. Ir. Nazaruddin Sinaga, MS

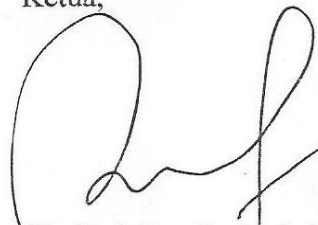
Penguji : Ir. Sugiyanto, DEA

()
()
()
()

Semarang, 21 Maret 2011

Jurusan Teknik Mesin

Ketua,



Dr. Dpl. Ing. Ir. Berkah Fadjar TK

NIP. 195907221987031003

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ahmad Hanafi
NIM : L2E 005 417
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Universitas Diponegoro
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

ANALISA KARAKTERISTIK HIDRODINAMIK PADA HYDROFOIL NACA 0012 DENGAN VARIASI SUDUT SERANG 0° SAMPAI DENGAN 180° MENGUNAKAN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC (CFD)

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang
Pada Tanggal : Maret 2011

Yang menyatakan



(Ahmad Hanafi)
NIM. L2E 005 417

PERSEMBAHAN

TUGAS SARJANA INI

KUPERSEMBAHKAN TERUNTUK :

- **Bapak dan Ibuku Tercinta, Semoga Allah selalu melimpahkan keberkahan atasmu, terima kasih atas segala kasih sayangmu**
- **Mbak dan Adikku tersayang, terima kasih atas dukungannya**
- **Untuk Seluruh MUROBBI ku selama di Undip .**
- **Seluruh ikhwah (ikhwan dan akhwat) di Forum angkatan'05 - ESIA '05 - terima kasih atas semangat dan ukhuwahnya...kita akan terus berkontribusi untuk dakwah dimanapun kita berada.**
- **Seluruh ikhhwah TEKNIK, Ikhwah UNDIP dan Ikhwah Semarang. Baik di ROHIS, di KAMMI atau di manapun.**

MOTTO

- Hai orang-orang mukmin, jika kamu menolong (agama) Allah, niscaya Dia akan menolongmu dan meneguhkan kedudukanmu (Q.S. Muhammad : 7)
- *Khairunnasi 'Anfa'uhum Linnas* – Sebaik baik manusia adalah yang paling memberikan manfaat bagi orang lain (Hadits)
- *Realita/kenyataan hari ini adalah impian-impian kemarin, impian – impian hari ini adalah kenyataan esok hari (Imam Hasan Al Banna)*
- *"Barangsiapa dimintai penjelasan tentang suatu ilmu pengetahuan kemudian dia tidak menjawab (menyembunyikan), maka dia akan diikat dengan ikat dari api neraka." (HR. Abu Daud, Tirmidzi dan Hakim).*
- *“Sesaungguhnya di dalam kesulitan terdapat kemudahan” (Al- Insyirah : 6)*
- *Hai orang-orang beriman apabila dikatakan kepadamu: "Berlapang-lapanglah dalam majlis", maka lapangkanlah niscaya Allah akan memberi kelapangan untukmu. Dan apabila dikatakan: "Berdirilah kamu", maka berdirilah, niscaya Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat. Dan Allah Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan. (Q.S. Al Mujaadillah : 11)*

ABSTRAK

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan energi listrik serta menipisnya cadangan bahan bakar fosil, maka dibutuhkan suatu sumber energi alternatif terbarukan (*renewable energy*). Dari sekian banyak sumber-sumber energi terbarukan tersebut, jika dilihat dari sisi ketersediannya, maka yang cukup banyak salah satunya adalah energi arus laut (*ocean current energy*). Indonesia yang sebagian besar wilayahnya berupa perairan, yang mendekati dua per tiga wilayah menyimpan potensi energi arus air yang sangat besar. Saat ini, telah dikembangkan turbin arus air Gorlov yang efisien dapat mengambil energi dari arus air tanpa memakai bendungan. Dan salah satu aspek terpenting dalam perancangan sebuah sudu turbin adalah pemilihan hydrofoil.

Penelitian Tugas Akhir ini menganalisis karakteristik ahidrodinamik *hydrofoil* NACA 0012 dengan variasi sudut serang 0° sampai 180° dengan beberapa variasi kecepatan, yaitu 2 m/s, 2.5 m/s, 3 m/s, 3.5 m/s dan 4 m/s. Metode yang digunakan yaitu dengan melakukan perhitungan numerik menggunakan program *Computational Fluid Dynamic (CFD)*.

Hasil simulasi akan menunjukkan karakteristik berupa koefisien gaya angkat (*lift Coefficient*) dan koefisien gaya drag (*Drag coefficient*) dari hydrofoil yang dikenai sudut serang dengan variasi kecepatan tersebut.

Kata kunci: *Lift Coefficient* , *Drag Coefficient*, *Hydrofoil*, NACA 0012, Sudut Serang 0° sampai 180° , variasi kecepatan.

ABSTACK

Along with the increasing electricity demand and depletion of fossil fuel reserves, renewable alternative energy sources (renewable energy). Of the most renewable energy sources, if viewed from the side of availability, it is pretty much one of them is the energy of ocean currents (ocean current energy). Indonesia is part of its area is water, which is approaching two-thirds of the region holds the potential energy of water currents are very large. Today, has developed Gorlov turbine efficient water flow to extract energy from water currents without using dams. So, one of the most important aspects in designing a turbine blade is hydrofoil election.

The final project research analyzed the aerodynamic of hydrofoil characteristics NACA 0012 with angle of attack variation 0° to 180° with a few variations of speed, which is 2 m / s, 2.5 m / s, 3 m / s, 3.5 m / s and 4 m / s. The method used is to perform numerical calculations using Computational Fluid

The simulation results will show the characteristics of the lift coefficient and drag coefficient of the hydrofoil which subjected to variation of angle of attack with speed.

Keywords: Lift Coefficient, Drag Coefficient, Hydrofoil, NACA 0012, Angle of Attack 0° to 180° , the speed variation.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil 'alamin. Segala puji penulis senantiasa panjatkan atas kehadiran Allah *Robbul 'Izzati* yang tiada hentinya mencurahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga dengan segala karunia yang diberikan-Nya, penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul “**Analisa Karakteristik Hidrodinamik pada Hydrofoil NACA 0012 Dengan Variasi sudut Serang 0° sampai dengan 180° Menggunakan Computational Fluid Dynamic (CFD)**” ini. Sholawat dan salam semoga senantiasa tercurah kepada *uswah hasanah* kita semua yang dengan segala aktivitas dakwah yang beliau jalankan telah menerangi manusia dari kegelapan *jahiliyyah* dengan risalah yang dibawanya, yaitu Islam.

Dalam Laporan Tugas Akhir ini penulis membahas tentang analisa karakteristik Hidrodinamik pada Hydrofoil NACA 0012. Analisa Hidrodinamik Airfoil ini untuk mengetahui karakteristik airfoil serta pengaruhnya terhadap koefisien tahanan geser (*drag coefficient*) maupun koefisien tahanan angkat (*lift coefficient*).

Dalam kesempatan ini penulis juga hendak menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Begitu banyak pihak yang baik secara langsung maupun tidak langsung mendorong penulis dalam menyelesaikan studi ini dari awal hingga akhir., yaitu :

1. Ir. Sudargana, MT., sebagai dosen pembimbing Tugas Akhir sekaligus sebagai dosen wali penulis di Jurusan Teknik Mesin.
2. Pihak – pihak yang telah banyak membantu.

Hanya ucapan terima kasih yang dapat penulis sampaikan dan doa semoga Allah *Ar Rahman Ar Rahim* membalas kebaikan kepada kalian semua karena sungguh hanya Allah sajalah yang dapat membalasnya dengan balasan yang lebih baik.

Selanjutnya harapan penulis adalah semoga apa yang telah penulis kerjakan dapat memberikan manfaat kepada kita semua sehingga menjadikan pemberat timbangan amal kebaikan bagi penulis yang akan dibawa di *yaumul akhir* nanti.

Terakhir, dengan selesainya penulisan Laporan Tugas Akhir ini berarti selesai pula masa studi penulis di Jurusan Teknik Mesin Undip. Semoga sepenggal episode

kehidupan penulis di kampus ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan juga kepada orang lain, dan semoga dapat dijadikan sebagai persiapan untuk menjalani penggalan episode kehidupan selanjutnya. Amin

Semarang, Maret 2011

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Halaman Tugas Sarjana.....	ii
Halaman Pernyataan Orisinalitas	iii
Halaman Pengesahan	iv
Halaman Pernyataan Persetujuan Publikasi	v
Halaman Persembahan	vi
Halaman Motto.....	vii
Abstrak	viii
Kata Pengantar	x
Daftar Isi.....	xii
Daftar Tabel	xv
Daftar Gambar.....	xvi
Nomenklatur.....	xxi
BAB I	PENDAHULUAN
1.1. Latar belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penulisan.....	2
1.4. Batasan Masalah.....	2
1.5. Metode Penyelesaian Masalah	3
1.6. Sistematika Penulisan Laporan	3
BAB II	LANDASAN TEORI
2.1 Definisi dan Karakteristik Fluida.....	5
2.2 Klasifikasi aliran Fluida	6
2.2.1 Aliran <i>inviscid</i> dan <i>viscous</i>	7
2.2.2 Aliran <i>Laminar</i> dan Aliran <i>Turbulent</i>	7
2.2.3 Aliran <i>Compressible</i> dan <i>Incompressible</i>	8

2.2.4	Aliran <i>Internal</i> dan <i>External</i>	9
2.3	Persamaan Dasar Aliran fluida	10
2.3.1	Persamaan Kekekalan Massa	10
2.3.2	Persamaan Kekekalan Momentum	12
2.3.3	Persamaan Energi	14
2.4	Bilangan Reynold	15
2.5	Gaya – gaya Pada Benda	16
2.5.1	Geometri Benda	16
2.5.2	Perhitungan Gaya Tahanan dan Gaya Angkat	18
2.5.3	Jenis Tahanan	21
2.5.3	Lapisan Batas	22
2.6	Karakteristik Airfoil NACA.....	26
2.6.1	Karakteristik Airfoil	27
2.6.2	NACA seri 4 Digit.....	29

BAB III PEMODELAN CFD

3.1	Model Benda	31
3.2	Langkah Pengerjaan	31
3.3	Simulasi Numerik Pada Fluent 6.2.16.....	33
3.3.1	Pembentukan Model dan Kondisi Batas	33
3.3.2	Penggenerasian <i>mesh</i>	34
3.3.3	Model <i>Solver</i>	36
3.3.4	Pendefinisian Material	37
3.3.5	Pendefinisian Kondisi Batas	38
3.4	Proses Simulasi	42
4.4.1	Control Solusi	42
4.4.2	Solusi Parameter Hidrodinamik Hydrofoil	43
3.5	Analisa Jumlah <i>Grid</i> dengan Hasil Simulasi	45
3.6	Analisa Kondisi Batas	47

BAB IV	HASIL SIMULASI	
4.1	Perbandingan Hasil Simulasi dengan Data Eksperimen	49
4.1.1	Grafik Perbandingan Gaya Angkat dan Gaya Geser	49
4.1.2	Nilai Perbandingan Koefisien <i>Lift</i> dan <i>Drag</i>	53
4.2	Analisa Hasil Simulasi	56
4.2.1	Sudut Serang $\alpha = 0^\circ$	56
4.2.2	Sudut Serang $\alpha = 15^\circ$	61
4.2.3	Sudut Serang $\alpha = 30^\circ$	67
4.2.4	Sudut Serang $\alpha = 45^\circ$	73
4.2.5	Sudut Serang $\alpha = 60^\circ$	79
4.2.6	Sudut Serang $\alpha = 90^\circ$	85
4.2.7	Sudut Serang $\alpha = 120^\circ$	90
4.2.8	Sudut Serang $\alpha = 150^\circ$	96
4.2.9	Sudut Serang $\alpha = 180^\circ$	101
BAB V	PENUTUP	
5.1	Kesimpulan	107
5.2	Saran.....	108

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 : Simulasi <i>grid</i> dependen C_l dan C_d sudut 0° dan $v = 2$ m/s.....	45
Tabel 3.2 : Simulasi <i>grid</i> dependen C_l dan C_d sudut 15° dan $v = 2$ m/s.....	46
Tabel 3.2 : Nilai perbandingan C_l dan C_d dengan tipe simulasi yang berbeda.....	48
Tabel 4.1 : Tabel Nilai <i>Coeffisien Lift</i> dan <i>Drag</i> hasil simulasi CFD dengan hasil eksperimen berdasarkan pendekatan <i>Reynold Number</i> 2000.000	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	: Perilaku (a) solid/padat dan (b) fluida, yang dikenai gaya geser	5
Gambar 2.2	: Klasifikasi Hidrodinamika aliran	6
Gambar 2.3	: Berbagai daerah aliran lapisan batas diatas plat rata.....	7
Gambar 2.4	: Variasi kecepatan (satu dimensi) terhadap waktu	8
Gambar 2.5	: Beberapa contoh aliran luar	9
Gambar 2.6	: Keseimbangan massa pada elemen fluida.....	11
Gambar 2.7	: Komponen tegangan menurut arah sumbu- x	12
Gambar 2.8	: Benda dua dimensi	17
Gambar 2.9	: Benda tiga dimensi	17
Gambar 2.10	: Benda <i>axisymmetric</i>	18
Gambar 2.11	: Distribusi tekanan dan tegangan geser pada suatu <i>airfoil</i>	18
Gambar 2.12	: Geometri elemen gaya pada <i>airfoil</i>	19
Gambar 2.13	: Definisi luas planform dan luas frontal.....	21
Gambar 2.14	: Tahanan permukaan pada plat datar.....	22
Gambar 2.15	: Tahanan bentuk pada <i>bluff bodies</i>	22
Gambar 2.16	: Lapisan batas viskos tipis pada suatu benda tipis	23
Gambar 2.17	: Lapisan batas pada suatu pelat datar	24
Gambar 2.18	: Variasi koefisien tahanan terhadap bilangan Reynolds	25
Gambar 2.19	: Efek <i>streamlining</i> pada pengurangan tahanan benda dua dimensi	26
Gambar 2.20	: NACA airfoil geometry	27
Gambar 2.21	: Proses terbentuknya gaya angkat	28
Gambar 2.22	: NACA 4 digit	30
Gambar 3.1	: Diagram Alir Pemodelan CFD.....	32
Gambar 3.2	: Daerah asal (domain) untuk airfoil dalam aliran dua dimensi	34
Gambar 3.3	: <i>Grid</i> quadrilateral terstruktur pada domain.....	35
Gambar 3.4	: Metode solusi <i>Segregated</i>	36
Gambar 3.5	: Panel Pendefinisian Material.....	38
Gambar 3.6	: Daerah asal (domain) untuk airfoil dalam aliran dua dimensi	40

Gambar 3.7	: Panel <i>velocity_Inlet</i>	40
Gambar 3.8	: Panel <i>pressure outlet</i>	41
Gambar 3.9	: Panel <i>wall condition</i>	41
Gambar 3.10	: Panel <i>control solution</i>	42
Gambar 3.11	: Panel Kriteria konvergensi	43
Gambar 3.12	: Iterasi telah mencapai kriteria konvergensi ($1e-3$)	44
Gambar 3.13	: Kontinuitas aliran massa (Net mass-flow: -0.004887438)	44
Gambar 3.14	: Grafik <i>grid</i> dependen C_l dan C_d sudut 0° dan $V=2\text{m/s}$	46
Gambar 3.15	: Grafik <i>grid</i> dependen C_l dan C_d sudut 15° dan $V=2\text{m/s}$	47
Gambar 4.1	: Grafik perbandingan <i>Coefficient Lift</i> dan <i>Drag</i> dengan $v = 2 \text{ m/s}$	49
Gambar 4.2	: Grafik perbandingan <i>Coefficient Lift</i> dan <i>Drag</i> dengan $v = 2.5 \text{ m/s}$	50
Gambar 4.3	: Grafik perbandingan <i>Coefficient Lift</i> dan <i>Drag</i> dengan $v = 3 \text{ m/s}$	50
Gambar 4.4	: Grafik perbandingan <i>Coefficient Lift</i> dan <i>Drag</i> dengan $v = 3.5 \text{ m/s}$	51
Gambar 4.5	: Grafik perbandingan <i>Coefficient Lift</i> dan <i>Drag</i> dengan $v = 4 \text{ m/s}$	51
Gambar 4.6	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 0^\circ$, $v = 2 \text{ m/s}$	56
Gambar 4.7	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 0^\circ$, $v = 2 \text{ m/s}$	56
Gambar 4.8	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 0^\circ$, $v = 2.5 \text{ m/s}$	57
Gambar 4.9	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 0^\circ$, $v = 2.5 \text{ m/s}$	57
Gambar 4.10	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 0^\circ$, $v = 3 \text{ m/s}$	58
Gambar 4.11	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 0^\circ$, $v = 3 \text{ m/s}$	58
Gambar 4.12	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 0^\circ$, $v = 3.5 \text{ m/s}$	59
Gambar 4.13	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 0^\circ$, $v = 3.5 \text{ m/s}$	59
Gambar 4.14	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 0^\circ$, $v = 4 \text{ m/s}$	60
Gambar 4.15	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 0^\circ$, $v = 4 \text{ m/s}$	60
Gambar 4.16	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 15^\circ$, $v = 2 \text{ m/s}$	61
Gambar 4.17	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 15^\circ$, $v = 2 \text{ m/s}$	62
Gambar 4.18	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 15^\circ$, $v = 2.5 \text{ m/s}$	62
Gambar 4.19	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 15^\circ$, $v = 2.5 \text{ m/s}$	63
Gambar 4.20	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 15^\circ$, $v = 3 \text{ m/s}$	63
Gambar 4.21	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 15^\circ$, $v = 3 \text{ m/s}$	64
Gambar 4.22	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 15^\circ$, $v = 3.5 \text{ m/s}$	64
Gambar 4.23	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 15^\circ$, $v = 3.5 \text{ m/s}$	65

Gambar 4.24	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 15^\circ$, $v = 4$ m/s.....	65
Gambar 4.25	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 15^\circ$, $v = 4$ m/s.....	66
Gambar 4.26	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 30^\circ$, $v = 2$ m/s.....	67
Gambar 4.27	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 30^\circ$, $v = 2$ m/s.....	67
Gambar 4.28	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 30^\circ$, $v = 2.5$ m/s.....	68
Gambar 4.29	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 30^\circ$, $v = 2.5$ m/s.....	68
Gambar 4.30	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 30^\circ$, $v = 3$ m/s.....	69
Gambar 4.31	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 30^\circ$, $v = 3$ m/s.....	69
Gambar 4.32	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 30^\circ$, $v = 3.5$ m/s.....	70
Gambar 4.33	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 30^\circ$, $v = 3.5$ m/s.....	70
Gambar 4.34	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 30^\circ$, $v = 4$ m/s.....	71
Gambar 4.35	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 30^\circ$, $v = 4$ m/s.....	71
Gambar 4.36	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 45^\circ$, $v = 2$ m/s.....	73
Gambar 4.37	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 45^\circ$, $v = 2$ m/s.....	73
Gambar 4.38	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 45^\circ$, $v = 2.5$ m/s.....	74
Gambar 4.39	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 45^\circ$, $v = 2.5$ m/s.....	74
Gambar 4.40	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 45^\circ$, $v = 3$ m/s.....	75
Gambar 4.41	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 45^\circ$, $v = 3$ m/s.....	75
Gambar 4.42	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 45^\circ$, $v = 3.5$ m/s.....	76
Gambar 4.43	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 45^\circ$, $v = 3.5$ m/s.....	76
Gambar 4.44	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 45^\circ$, $v = 4$ m/s.....	77
Gambar 4.45	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 45^\circ$, $v = 4$ m/s.....	77
Gambar 4.46	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 60^\circ$, $v = 2$ m/s.....	79
Gambar 4.47	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 60^\circ$, $v = 2$ m/s.....	79
Gambar 4.48	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 60^\circ$, $v = 2.5$ m/s.....	80
Gambar 4.49	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 60^\circ$, $v = 2.5$ m/s.....	80
Gambar 4.50	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 60^\circ$, $v = 3$ m/s.....	81
Gambar 4.51	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 60^\circ$, $v = 3$ m/s.....	81
Gambar 4.52	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 60^\circ$, $v = 3.5$ m/s.....	82
Gambar 4.53	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 60^\circ$, $v = 3.5$ m/s.....	82
Gambar 4.54	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 60^\circ$, $v = 4$ m/s.....	83
Gambar 4.55	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 60^\circ$, $v = 4$ m/s.....	83

Gambar 4.56	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 90^\circ$, $v = 2$ m/s.....	85
Gambar 4.57	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 90^\circ$, $v = 2$ m/s.....	85
Gambar 4.58	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 90^\circ$, $v = 2.5$ m/s.....	86
Gambar 4.59	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 90^\circ$, $v = 2.5$ m/s.....	86
Gambar 4.60	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 90^\circ$, $v = 3$ m/s.....	87
Gambar 4.61	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 90^\circ$, $v = 3$ m/s.....	87
Gambar 4.62	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 90^\circ$, $v = 3.5$ m/s.....	88
Gambar 4.63	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 90^\circ$, $v = 3.5$ m/s.....	88
Gambar 4.64	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 90^\circ$, $v = 4$ m/s.....	89
Gambar 4.65	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 90^\circ$, $v = 4$ m/s.....	89
Gambar 4.66	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 120^\circ$, $v = 2$ m/s.....	90
Gambar 4.67	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 120^\circ$, $v = 2$ m/s.....	91
Gambar 4.68	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 120^\circ$, $v = 2.5$ m/s.....	91
Gambar 4.69	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 120^\circ$, $v = 2.5$ m/s.....	92
Gambar 4.70	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 120^\circ$, $v = 3$ m/s.....	92
Gambar 4.71	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 120^\circ$, $v = 3$ m/s.....	93
Gambar 4.72	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 120^\circ$, $v = 3.5$ m/s.....	93
Gambar 4.73	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 120^\circ$, $v = 3.5$ m/s.....	94
Gambar 4.74	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 120^\circ$, $v = 4$ m/s.....	94
Gambar 4.75	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 120^\circ$, $v = 4$ m/s.....	95
Gambar 4.76	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 150^\circ$, $v = 2$ m/s.....	96
Gambar 4.77	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 150^\circ$, $v = 2$ m/s.....	96
Gambar 4.78	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 150^\circ$, $v = 2.5$ m/s.....	97
Gambar 4.79	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 150^\circ$, $v = 2.5$ m/s.....	97
Gambar 4.80	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 150^\circ$, $v = 3$ m/s.....	98
Gambar 4.81	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 150^\circ$, $v = 3$ m/s.....	98
Gambar 4.82	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 150^\circ$, $v = 3.5$ m/s.....	99
Gambar 4.83	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 150^\circ$, $v = 3.5$ m/s.....	99
Gambar 4.84	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 150^\circ$, $v = 4$ m/s.....	100
Gambar 4.85	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 150^\circ$, $v = 4$ m/s.....	100
Gambar 4.86	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 180^\circ$, $v = 2$ m/s.....	101
Gambar 4.87	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 180^\circ$, $v = 2$ m/s.....	102

Gambar 4.88	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 180^\circ$, $v = 2.5$ m/s..	102
Gambar 4.89	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 180^\circ$, $v = 2.5$ m/s.....	103
Gambar 4.90	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 280^\circ$, $v = 3$ m/s.....	103
Gambar 4.91	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 180^\circ$, $v = 3$ m/s.....	104
Gambar 4.92	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 180^\circ$, $v = 3.5$ m/s....	104
Gambar 4.93	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 180^\circ$, $v = 3.5$ m/s.....	105
Gambar 4.94	: Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 180^\circ$, $v = 4$ m/s.....	105
Gambar 4.95	: Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 180^\circ$, $v = 4$ m/s.....	106

NOMENKLATUR

A	Luasan acuan	m^2
a	Input	-
b	Radius lingkaran	m
C	Panjang <i>chord</i>	m
c	Kecepatan suara	m/s
C_D	Koefisien <i>drag</i>	-
C_{Df}	Koefisien <i>friction drag</i>	-
C_{Dp}	Koefisien <i>pressure drag</i>	-
C_L	Koefisien <i>lift</i>	-
C_M	Koefisien <i>Momen</i>	-
D	Gaya hambat	N
E	Energy	Joule
$F(x)$	Fungsi rata-rata kuadrat error	-
F	Resultan gaya aerodinamika	N
h	Enthalpy	Joule/kg
J	Fluks difusi	-
k_{eff}	Konduktivitas efektif	$W/m.K$
k_t	Konduksi thermal	$W/m.K$
L	<i>Lift</i>	N
M	Momen	$N.m$
\hat{n}	Vector satuan gaya arah normal	-
P	Tekanan	N/m^2
S	Luasan acuan	m^2
s	Parameter koordinat pergeseran transformasi joukowski	-
T	Temperatur	K
t	Target	-
\hat{t}	Vector satuan gaya arah tangensial	-
u	Vector kecepatan arah sumbu x	m/s
U_∞	Kecepatan arus bebas	m/s
V	Kecepatan aliran	m/s

v	Vector kecepatan arah sumbu y	m/s
w	Vector kecepatan arah sumbu z	m/s
x,y,z	Sumbu koordinat kartesius	-
μ	Viskositas fluida	kg/m.s
τ	Tegangan viskos (tegangan geser fluida)	N/m ²
ρ	Densitas fluida	kg/m ³
S_h	Disipasi viskos	-
Re	Bilangan reynold	-
α	Sudut serang	-
δ	Ketebalan lapisan batas	m