



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**ANALISA KARAKTERISTIK HYDRODINAMIK
PADA HYDROFOIL NACA 0021 DENGAN VARIASI SUDUT
SERANG 0° SAMPAI DENGAN 180° MENGGUNAKAN
COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC (CFD)**

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**RAHMAN FADLI
L2E 005 479**

**FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN**

**SEMARANG
APRIL 2011**

TUGAS SARJANA

- Diberikan kepada : Nama : Rahman Fadli
NIM : L2E 005 479
- Dosen Pembimbing : I. Ir. Sudargana, MT.
- Jangka waktu :
- Judul : Analisa Karakteristik Hydrodinamik pada Hydrofoil NACA 0021 Dengan Variasi sudut Serang 0° sampai dengan 180° Menggunakan Computational Fluid Dynamic (CFD)
- Isi Tugas :
1. Mengetahui karakteristik Hydrodinamik *hydrofoil* NACA 0021 dan pengaruhnya terhadap *drag coefficient* dan *lift coefficient*
 2. Menyusun database dari NACA 0021 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 0021 dengan verifikasi perbandingan dari data literatur.

Semarang, 5 April 2011

Pembimbing Tugas Sarjana



Ir. Sudargana , MT

NIP. 194811251986031002

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah karya saya sendiri,
dan semua sumber yang dikutip maupun yang dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

NAMA : Rahman Fadli

NIM : L2E 005 479

Tanda tangan :

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized letters and a large loop, enclosed in a faint blue oval shape.

Tanggal : 28 Maret 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

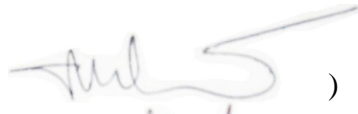
Nama : Rahman Fadli

Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin


Judul Skripsi : Analisa Karakteristik Hydrodinamik pada Hydrofoil NACA 0021 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 untk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

Pembimbing I : Ir. Sudargana, MT. ()

Penguji : Ir. Bambang Yuniyanto, MSc. ()

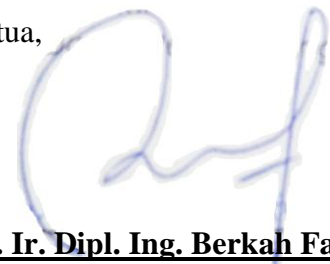
Penguji : Ir. Dwi Basuki Wibowo, MS. ()

Penguji : Dr. Jamari, ST, MT. ()

Semarang, 28 Maret 2011

Jurusan Teknik Mesin

Ketua,



Dr. Ir. Dipl. Ing. Berkah Fajar TK.

NIP. 195907221987031003

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Rahman Fadli
NIM : L2E 005 479
Jurusan : Teknik Mesin
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 Hydrodinamik pada Hydrofoil NACA 0021 Dengan Variasi sudut Serang 0° sampai dengan 180° Menggunakan 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 : 28 Maret 2010

Yang menyatakan



Rahman Fadli

NIM: L2E005479

ABSTRAK

Isu tentang inovasi sumber-sumber energi yang terbarukan (*renewable energy*) sebagai pengganti energi yang berasal dari fosil sudah berkembang pesat. Diantara sumber energi terbarukan tersebut adalah arus air. Sekarang ini telah banyak dilakukan studi untuk meningkatkan unjuk kerja turbin arus air. Dimana untuk mendapatkan sudu turbin yang efisien, diperlukan data karakteristik hidrodinamika sudu turbin air yang tergantung pada foil yang dipilih / yang dirancang.

Penelitian Tugas Akhir ini menganalisis karakteristik hidrodinamika *hydrofoil* NACA 0021 dengan perhitungan numerik menggunakan program *Computational Fluid Dynamic (CFD)*. Fokus studi numerik ini adalah untuk meneliti efek dari perubahan sudut serang dan variasi kecepatan terhadap *hydrofoil* yang dimodelkan dalam bentuk dua dimensi.

Perbandingan data hasil simulasi dengan data eksperimen menunjukkan kemampuan CFD yang dapat mensimulasikan aliran fluida sepanjang permukaan *hydrofoil*. Hasil simulasi juga dapat memberikan informasi mengenai karakteristik hidrodinamik berupa koefisien *lift* dan *drag*. Dimana koefisien *lift* maksimum diperoleh pada sudut serang $\alpha = 45^\circ$ pada kecepatan 4 m/s sebesar 1,1363. Sedangkan koefisien *drag* maksimum diperoleh pada sudut serang 90° .

Kata kunci: Koefisien *Lift*, Koefisien *Drag*, *hydrofoil*, NACA 0021, sudut serang 0° - 180° .

ABSTRACT

Issues of the innovation renewable energy sources as a substitute for fossil energy is growing rapidly. Among the renewable energy sources is a stream of water. Now that it has been widely studied to improve the performance of water turbine. Where to obtain an efficient turbine blade, needed the hydrodynamic characteristics data of water turbine blades depends on the chosen / designed foil.

This final project analyzing the hydrodynamic characteristics of NACA 0021 hydrofoil with numerical calculations using Computational Fluid Dynamics (CFD). The focus of this numerical studies is to investigate the effect of changing angle of attack and velocity variations into hydrofoil which modeled in two dimensions.

Comparison of simulation data with experimental data shows the ability of CFD to simulate the fluid flow along the surface of the hydrofoil. The simulation also can provide information about the hydrodynamic characteristics as lift and drag coefficients. Where the maximum lift coefficient was obtained at angle of attack $\alpha = 45^\circ$ at a speed of 4 m/s at 1,1363. While the maximum drag coefficient was obtained at angle of attack 90° .

Keywords: Lift Coefficient, Drag Coefficient, *hydrofoil*, NACA 0021, angle of attack 0° - 180° .

PERSEMBAHAN

TUGAS SARJANA INI

KUPERSEMBAHKAN TERUNTUK :

- *Ayah dan Ibuku tercinta, atas segala jerih payah dan pengorbanan yang telah engkau berikan, mendidik dan membesarkan dengan penuh kasih dan sayang. Semoga Allah senantiasa melimpahkan keberkahan dan memberikan kemuliaan, dunia dan akhirat*
- *Adik-adikku tersayang, atas dukungan dan semangat yang senantiasa kau teriakkan. Semoga langkah kita senantiasa diberi kemudahan*

MOTTO

يَرْفَعُ اللَّهُ الَّذِينَ ءَامَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ ۗ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ

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. (Al Mujadilah : 11)

- ✓ Kejayaan tidak akan tercapai dengan cita-cita yang rendah. Maka yang paling aku khawatirkan adalah keengganan untuk berprestasi.
- ✓ Di antara tanda akhir zaman adalah diangkatnya ilmu dan sedikitnya orang yang memiliki kebijaksanaan.
- ✓ Orang yang bodoh hanya akan membuat kerusakan, terlebih untuk dirinya sendiri.
- ✓ Di antara ciri kebaikan ilmu seseorang adalah keagungan akhlaqnya.

(Rahman Farouq, 2011)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah robbil ‘aalamiin. Penulis senantiasa memanjatkan segala puji dan rasa syukur ke hadirat 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 Hydrodinamik pada Hydrofoil NACA 0021 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 hydrodinamik pada Hydrofoil NACA 0021, yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik hydrofoil serta pengaruh perubahan sudut serang dan kecepatan fluida terhadap koefisien tahanan geser (*drag coefficient*) maupun koefisien tahanan angkat (*lift coefficient*).

Dalam kesempatan ini penulis juga hendak menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini, yaitu :

1. Ir. Sudargana, MT., selaku Dosen Pembimbing, yang telah memberikan bimbingan, pengarahan-pengarahan dan masukan-masukan kepada penyusun hingga terselesainya Tugas Akhir ini.
2. dan semua pihak yang telah membantu, mendorong dan memberi semangat, tak henti memanjatkan doa dan segala harap, dengan segala cara, segenap upaya, ikhlas tak mengharap balas.

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.

Semarang, 31 Maret 2011

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|--------------------|
| Halaman Judul..... | i |
| Halaman Tugas Sarjana..... | ii |
| Halaman Pengesahan | iii |
| Halaman Abstrak..... | iv |
| Halaman Persembahan | vi |
| Halaman Motto..... | vii |
| Kata Pengantar | viii |
| Daftar Isi..... | x |
| Daftar Tabel | xiii |
| Daftar Gambar..... | xiv |
| Nomenklatur..... | xix |
| | |
| 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 | 3 |
| | |
| BAB II | DASAR TEORI |
| 2.1 Klasifikasi Aliran Fluida | 5 |
| 2.1.1 Aliran <i>Inviscid</i> dan <i>Viscous</i> | 7 |
| 2.1.2 Aliran <i>Laminar</i> dan Aliran <i>Turbulent</i> | 9 |
| 2.1.3 Aliran <i>Compressible</i> dan <i>Incompressible</i> | 10 |
| 2.1.4 Aliran <i>Internal</i> dan <i>External</i> | 11 |
| 2.2 Persamaan Dasar Aliran fluida | 12 |
| 2.2.1 Persamaan Kekekalan Massa..... | 12 |

| | | |
|---------|---|----|
| 2.2.2 | Persamaan Kekekalan Momentum | 14 |
| 2.2.3 | Persamaan Energi | 17 |
| 2.3 | Bilangan Reynold (Reynolds Number)..... | 18 |
| 2.4 | Aerodinamika dan Gaya–gaya pada Benda..... | 19 |
| 2.4.1 | Geometri Benda | 19 |
| 2.4.2 | Perhitungan Gaya Tahanan dan Gaya Angkat | 20 |
| 2.4.3 | Jenis Tahanan..... | 24 |
| 2.4.3 | Lapisan Batas..... | 26 |
| 2.5 | Karakteristik Airfoil..... | 30 |
| 2.5.1 | Bentuk Geometri Airfoil NACA..... | 31 |
| 2.5.2 | Tipe dan Karakteristik Airfoil NACA..... | 32 |
| 2.5.2.1 | NACA Seri 4 Digit..... | 32 |
| 2.5.2.2 | NACA Seri 5 Digit..... | 33 |
| 2.5.2.3 | NACA Seri - 1 | 33 |
| 2.5.2.4 | NACA Seri - 6..... | 34 |
| 2.5.2.5 | NACA Seri - 7 | 34 |
| 2.5.2.6 | NACA Seri - 8..... | 35 |
| 2.5.3 | Proses Terjadinya Gaya Angkat pada Airfoil..... | 35 |

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

| | | |
|---------|---|----|
| 3.1 | Langkah Pengerjaan | 38 |
| 3.2 | <i>Pre Processing</i> | 42 |
| 3.2.1 | Pembuatan Model dan Kondisi Batas | 42 |
| 3.2.2 | Penggenerasian <i>Mesh</i> | 43 |
| 3.2.3 | Pendefinisian Material | 44 |
| 3.2.4 | Pendefinisian Kondisi Batas | 45 |
| 3.2.4.1 | <i>Velocity Inlet</i> | 45 |
| 3.2.4.2 | <i>Pressure Outlet</i> | 46 |
| 3.3 | <i>Solving</i> | 46 |
| 3.3.1 | Formulasi <i>Solver</i> | 46 |
| 3.3.2 | Pendefinisian Model | 47 |

| | | |
|----------------------|--|-----|
| 3.3.3 | Parameter Kontrol Solusi | 48 |
| 3.3.4 | Inisialisasi Medan Aliran | 59 |
| 3.3.5 | Kriteria Konvergensi | 50 |
| 3.3.6 | Fektor Gaya Koefisien <i>Lift</i> dan <i>Drag</i> | 50 |
| 3.3.7 | Setting Nilai Referensi | 51 |
| 3.3.8 | Solusi Parameter Hydrodinamik | 51 |
| | | |
| BAB IV | DATA DAN ANALISA DATA | |
| 4.1 | Perbandingan Data Hasil Simulasi dengan Eksperimen..... | 53 |
| 4.1.1 | Grafik Koefisien <i>Lift</i> dan <i>Drag</i> Hasil Eksperimen..... | 53 |
| 4.1.2 | Validasi Data Hasil Simulasi CFd dengan Eksperimen | 54 |
| 4.1.3 | Nilai Perbandingan Koefisien <i>Lift dan Drag</i> | 54 |
| 4.1.4 | Grafik Perbandingan Koefisien <i>Lift dan Drag</i> Hasil Simulasi CFD | 56 |
| 4.2 | Analisa Hasil Simulasi | 59 |
| 4.2.1 | Sudut Serang $\alpha = 0^\circ$ | 60 |
| 4.2.2 | Sudut Serang $\alpha = 15^\circ$ | 64 |
| 4.2.3 | Sudut Serang $\alpha = 30^\circ$ | 68 |
| 4.2.4 | Sudut Serang $\alpha = 45^\circ$ | 72 |
| 4.2.5 | Sudut Serang $\alpha = 60^\circ$ | 76 |
| 4.2.6 | Sudut Serang $\alpha = 90^\circ$ | 80 |
| 4.2.7 | Sudut Serang $\alpha = 120^\circ$ | 84 |
| 4.2.8 | Sudut Serang $\alpha = 150^\circ$ | 88 |
| 4.2.9 | Sudut Serang $\alpha = 180^\circ$ | 92 |
| 4.3 | Pembahasan | 95 |
| | | |
| BAB V | PENUTUP | |
| 5.1 | Kesimpulan | 97 |
| 5.2 | Saran..... | 98 |
| | | |
| DAFTAR PUSTAKA | | 99 |
| LAMPIRAN..... | | 100 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 4.1 : Tabel perbandingan antara koefisien <i>Lift</i> dan <i>Drag</i> hasil simulasi dengan eksperimen pada Ref. 7 pada kecepatan $v = 2$ m/s | 54 |
| Tabel 4.1 : Tabel Nilai Coeffisien Lift dan Drag hasil simulasi CFD dengan hasil eksperimen | 54 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 2.1 | : Tampilan gaya geser pada suatu daerah infinitif..... | 5 |
| Gambar 2.2 | : Respon terhadap gaya | 6 |
| Gambar 2.3 | : Klasifikasi aerodinamika aliran..... | 7 |
| Gambar 2.4 | : Berbagai daerah aliran lapisan batas diatas plat rata..... | 8 |
| Gambar 2.5 | : Viskositas fluida dilihat dari hubungan tegangan geser dan regangan geser | 9 |
| Gambar 2.6 | : Perilaku viskositas cairan..... | 9 |
| Gambar 2.7 | : Variasi kecepatan (satu dimensi) terhadap waktu..... | 10 |
| Gambar 2.8 | : Aliran internal pada pipa dan dua plat | 11 |
| Gambar 2.9 | : Aliran luar pada airfoil..... | 11 |
| Gambar 2.10 | : Keseimbangan massa pada elemen fluida..... | 13 |
| Gambar 2.11 | : Komponen tegangan menurut arah sumbu- x | 15 |
| Gambar 2.12 | : Benda dua dimensi | 19 |
| Gambar 2.13 | : Benda tiga dimensi | 20 |
| Gambar 2.14 | : Benda axisymmetric | 20 |
| Gambar 2.15 | : Distribusi tekanan dan tegangan geser pada suatu <i>airfoil</i> | 21 |
| Gambar 2.16 | : Geometri elemen gaya pada <i>airfoil</i> | 22 |
| Gambar 2.17 | : Definisi luas planform dan luas frontal..... | 24 |
| Gambar 2.18 | : Tahanan permukaan pada plat datar..... | 25 |
| Gambar 2.19 | : Tahanan bentuk pada <i>bluff bodies</i> | 26 |
| Gambar 2.20 | : Lapisan batas viskos tipis pada suatu benda tipis dalam aliran dengan bilangan Reynolds tinggi | 27 |
| Gambar 2.21 | : Lapisan batas pada suatu pelat datar (ketebalan vertikal diperbesar) ... | 28 |
| Gambar 2.22 | : Variasi koefisien tahanan terhadap bilangan Reynolds untuk benda dengan berbagai tingkat streamlining | 29 |
| Gambar 2.23 | : Efek <i>streamlining</i> pada pengurangan tahanan benda dua dimensi, C_D didasarkan pada luas frontal..... | 30 |
| Gambar 2.24 | : Konstruksi Geometri Airfoil NACA..... | 32 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 2.25 | : Proses Terbentuknya Gaya Angkat..... | 36 |
| Gambar 3.1 | : Interkoneksi Tiga Tahapan Utama Analisis CFD..... | 38 |
| Gambar 3.2 | : Diagram Alir Pemodelan CFD..... | 40 |
| Gambar 3.3 | : Bentuk Geometri Hydrofoil NACA 0021..... | 42 |
| Gambar 3.4 | : Daerah asal (domain) untuk airfoil dalam aliran dua dimensi..... | 42 |
| Gambar 3.5 | : Grid quadrilateral terstruktur pada domain..... | 44 |
| Gambar 3.6 | : Panel Pendefinisian Material, FLUENT Database..... | 45 |
| Gambar 3.7 | : Panel <i>Velocity_Inlet</i> | 45 |
| Gambar 3.8 | : Panel <i>Pressure outlet</i> | 46 |
| Gambar 3.9 | : Panel <i>Model Solver</i> | 47 |
| Gambar 3.10 | : Panel Model Viskos..... | 47 |
| Gambar 3.11 | : Panel <i>Solution Control</i> | 49 |
| Gambar 3.12 | : Panel <i>Initialize</i> | 49 |
| Gambar 3.13 | : Panel <i>Residual monitors</i> | 50 |
| Gambar 3.14 | : Panel <i>Force Monitor</i> | 50 |
| Gambar 3.15 | : Panel <i>Reverence Values</i> | 51 |
| Gambar 3.16 | : Panel Iterasi..... | 51 |
| Gambar 3.17 | : Iterasi telah mencapai kriteria konvergensi..... | 52 |
| Gambar 4.1 | : Grafik <i>Coeffisient Lift</i> dan <i>Drag</i> Hasil Eksperimen..... | 53 |
| Gambar 4.1 | : Grafik perbandingan <i>Coeffisient Lift</i> dan <i>Drag</i> dengan $v = 2$ m/s..... | 56 |
| Gambar 4.2 | : Grafik perbandingan <i>Coeffisient Lift</i> dan <i>Drag</i> dengan $v = 2.5$ m/s..... | 56 |
| Gambar 4.3 | : Grafik perbandingan <i>Coeffisient Lift</i> dan <i>Drag</i> dengan $v = 3$ m/s..... | 57 |
| Gambar 4.4 | : Grafik perbandingan <i>Coeffisient Lift</i> dan <i>Drag</i> dengan $v = 3.5$ m/s..... | 57 |
| Gambar 4.5 | : Grafik perbandingan <i>Coeffisient Lift</i> dan <i>Drag</i> dengan $v = 4$ m/s..... | 58 |
| Gambar 4.6 | : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 0^\circ$, $v = 2$ m/s..... | 60 |
| Gambar 4.7 | : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 0^\circ$, $v = 2$ m/s..... | 60 |
| Gambar 4.8 | : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 0^\circ$, $v = 2.5$ m/s..... | 60 |
| Gambar 4.9 | : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 0^\circ$, $v = 2.5$ m/s..... | 60 |
| Gambar 4.10 | : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 0^\circ$, $v = 3$ m/s..... | 61 |
| Gambar 4.11 | : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 0^\circ$, $v = 3$ m/s..... | 61 |
| Gambar 4.12 | : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 0^\circ$, $v = 3.5$ m/s..... | 61 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 4.13 | : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 0^\circ$, $v = 3.5$ m/s..... | 61 |
| Gambar 4.14 | : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 0^\circ$, $v = 4$ m/s | 62 |
| Gambar 4.15 | : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 0^\circ$, $v = 4$ m/s..... | 62 |
| Gambar 4.16 | : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 15^\circ$, $v = 2$ m/s | 64 |
| Gambar 4.17 | : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 15^\circ$, $v = 2$ m/s..... | 64 |
| Gambar 4.18 | : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 15^\circ$, $v = 2.5$ m/s | 64 |
| Gambar 4.19 | : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 15^\circ$, $v = 2.5$ m/s..... | 64 |
| Gambar 4.20 | : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 15^\circ$, $v = 3$ m/s | 65 |
| Gambar 4.21 | : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 15^\circ$, $v = 3$ m/s..... | 65 |
| Gambar 4.22 | : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 15^\circ$, $v = 3.5$ m/s | 65 |
| Gambar 4.23 | : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 15^\circ$, $v = 3.5$ m/s..... | 65 |
| Gambar 4.24 | : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 15^\circ$, $v = 4$ m/s | 66 |
| Gambar 4.25 | : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 15^\circ$, $v = 4$ m/s..... | 66 |
| Gambar 4.26 | : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 30^\circ$, $v = 2$ m/s | 68 |
| Gambar 4.27 | : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 30^\circ$, $v = 2$ m/s..... | 68 |
| Gambar 4.28 | : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 30^\circ$, $v = 2.5$ m/s | 68 |
| Gambar 4.29 | : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 30^\circ$, $v = 2.5$ m/s..... | 68 |
| Gambar 4.30 | : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 30^\circ$, $v = 3$ m/s | 69 |
| Gambar 4.31 | : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 30^\circ$, $v = 3$ m/s..... | 69 |
| Gambar 4.32 | : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 30^\circ$, $v = 3.5$ m/s | 69 |
| Gambar 4.33 | : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 30^\circ$, $v = 3.5$ m/s..... | 69 |
| Gambar 4.34 | : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 30^\circ$, $v = 4$ m/s | 70 |
| Gambar 4.35 | : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 30^\circ$, $v = 4$ m/s..... | 70 |
| Gambar 4.36 | : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 45^\circ$, $v = 2$ m/s | 72 |
| Gambar 4.37 | : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 45^\circ$, $v = 2$ m/s..... | 72 |
| Gambar 4.38 | : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 45^\circ$, $v = 2.5$ m/s | 72 |
| Gambar 4.39 | : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 45^\circ$, $v = 2.5$ m/s..... | 72 |
| Gambar 4.40 | : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 45^\circ$, $v = 3$ m/s | 73 |
| Gambar 4.41 | : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 45^\circ$, $v = 3$ m/s..... | 73 |
| Gambar 4.42 | : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 45^\circ$, $v = 3.5$ m/s | 73 |
| Gambar 4.43 | : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 45^\circ$, $v = 3.5$ m/s..... | 73 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.44 : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 45^\circ$, $v = 4$ m/s | 74 |
| Gambar 4.45 : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 45^\circ$, $v = 4$ m/s..... | 74 |
| Gambar 4.46 : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 60^\circ$, $v = 2$ m/s | 76 |
| Gambar 4.47 : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 60^\circ$, $v = 2$ m/s..... | 76 |
| Gambar 4.48 : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 60^\circ$, $v = 2.5$ m/s | 76 |
| Gambar 4.49 : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 60^\circ$, $v = 2.5$ m/s..... | 76 |
| Gambar 4.50 : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 60^\circ$, $v = 3$ m/s | 77 |
| Gambar 4.51 : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 60^\circ$, $v = 3$ m/s..... | 77 |
| Gambar 4.52 : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 60^\circ$, $v = 3.5$ m/s | 77 |
| Gambar 4.53 : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 60^\circ$, $v = 3.5$ m/s..... | 77 |
| Gambar 4.54 : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 60^\circ$, $v = 4$ m/s | 78 |
| Gambar 4.55 : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 60^\circ$, $v = 4$ m/s..... | 78 |
| Gambar 4.56 : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 90^\circ$, $v = 2$ m/s | 80 |
| Gambar 4.57 : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 90^\circ$, $v = 2$ m/s..... | 80 |
| Gambar 4.58 : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 90^\circ$, $v = 2.5$ m/s | 80 |
| Gambar 4.59 : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 90^\circ$, $v = 2.5$ m/s..... | 80 |
| Gambar 4.60 : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 90^\circ$, $v = 3$ m/s | 81 |
| Gambar 4.61 : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 90^\circ$, $v = 3$ m/s..... | 81 |
| Gambar 4.62 : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 90^\circ$, $v = 3.5$ m/s | 81 |
| Gambar 4.63 : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 90^\circ$, $v = 3.5$ m/s..... | 81 |
| Gambar 4.64 : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 90^\circ$, $v = 4$ m/s | 82 |
| Gambar 4.65 : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 90^\circ$, $v = 4$ m/s..... | 82 |
| Gambar 4.66 : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 120^\circ$, $v = 2$ m/s | 84 |
| Gambar 4.67 : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 120^\circ$, $v = 2$ m/s..... | 84 |
| Gambar 4.68 : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 120^\circ$, $v = 2.5$ m/s | 84 |
| Gambar 4.69 : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 120^\circ$, $v = 2.5$ m/s..... | 84 |
| Gambar 4.70 : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 120^\circ$, $v = 3$ m/s | 85 |
| Gambar 4.71 : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 120^\circ$, $v = 3$ m/s..... | 85 |
| Gambar 4.72 : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 120^\circ$, $v = 3.5$ m/s | 85 |
| Gambar 4.73 : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 120^\circ$, $v = 3.5$ m/s..... | 85 |
| Gambar 4.74 : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 120^\circ$, $v = 4$ m/s | 86 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.75 : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 120^\circ$, $v = 4$ m/s..... | 86 |
| Gambar 4.76 : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 150^\circ$, $v = 2$ m/s | 88 |
| Gambar 4.77 : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 150^\circ$, $v = 2$ m/s..... | 88 |
| Gambar 4.78 : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 150^\circ$, $v = 2.5$ m/s | 88 |
| Gambar 4.79 : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 150^\circ$, $v = 2.5$ m/s..... | 88 |
| Gambar 4.80 : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 150^\circ$, $v = 3$ m/s | 89 |
| Gambar 4.81 : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 150^\circ$, $v = 3$ m/s..... | 89 |
| Gambar 4.82 : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 150^\circ$, $v = 3.5$ m/s | 89 |
| Gambar 4.83 : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 150^\circ$, $v = 3.5$ m/s..... | 89 |
| Gambar 4.84 : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 150^\circ$, $v = 4$ m/s | 90 |
| Gambar 4.85 : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 150^\circ$, $v = 4$ m/s..... | 90 |
| Gambar 4.86 : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 180^\circ$, $v = 2$ m/s | 92 |
| Gambar 4.87 : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 180^\circ$, $v = 2$ m/s..... | 92 |
| Gambar 4.88 : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 180^\circ$, $v = 2.5$ m/s | 92 |
| Gambar 4.89 : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 180^\circ$, $v = 2.5$ m/s..... | 92 |
| Gambar 4.90 : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 280^\circ$, $v = 3$ m/s | 93 |
| Gambar 4.11 : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 180^\circ$, $v = 3$ m/s..... | 93 |
| Gambar 4.12 : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 180^\circ$, $v = 3.5$ m/s | 93 |
| Gambar 4.13 : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 180^\circ$, $v = 3.5$ m/s..... | 93 |
| Gambar 4.14 : Distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 180^\circ$, $v = 4$ m/s | 94 |
| Gambar 4.15 : Distribusi kecepatan pada sudut serang $\alpha = 180^\circ$, $v = 4$ m/s..... | 94 |

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 |