



**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**OPTIMASI PERBANDINGAN KOEFISIEN *LIFT* DAN  
KOEFISIEN *DRAG* MAKSIMUM PADA PERANCANGAN  
AIRFOIL BERBASIS JARINGAN SYARAF TIRUAN  
DENGAN *BASED GRADIENT METHOD* DAN ALGORITMA  
GENETIKA**

**TUGAS AKHIR**

**ADITYA PRATAMA PUTRA  
L2E 006 005**

**FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN**

**SEMARANG  
MARET 2011**

## TUGAS AKHIR

Diberikan Kepada : Nama : Aditya Pratama Putra  
NIM : L2E 006 005

Dosen Pembimbing : Dr.-Ing. Ir. Ismoyo Haryanto, MT

Jangka Waktu : -

Judul : **Optimasi Perbandingan Koefisien *Lift* Dan Koefisien *Drag* Maksimum Pada Perancangan Airfoil Berbasis Jaringan Syaraf Tiruan Dengan *Based Gradient Method* Dan Algoritma Genetika**

Isi Tugas : 1. Menghitung karakteristik aerodinamika airfoil hasil optimasi dengan *Artificial Neural Network*  
2. Membuat prosedur alternatif perancangan airfoil dengan metode perancangan langsung (*direct design method*) berdasarkan *Artificial Neural Network* (ANN) yang dikombinasikan dengan metode optimasi *Based Gradient Method* dan Algoritma Genetika untuk mendapatkan airfoil dengan  $C_L/C_D$  maksimum.

Semarang, Maret 2011

Pembimbing

Dr.-Ing. Ir. Ismoyo Haryanto, MT

NIP. 196605212006041010

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

NAMA : Aditya Pratama Putra

NIM : L2E 006 005

Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Optimasi Perbandingan Koefisien *Lift* Dan Koefisien *Drag*  
Maksimum Pada Perancangan Airfoil Berbasis Jaringan Syaraf  
Tiruan Dengan *Based Gradient Method* Dan Algoritma  
Genetika

**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 : Dr.-Ing. Ir. Ismoyo Haryanto, MT ( )  
Penguji : Dr. Achmad Widodo, ST. MT ( )  
Penguji : Dr. Jamari, ST. MT ( )  
Penguji : Dr. Ir. Nazaruddin Sinaga, MS ( )

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 : Aditya Pratama Putra  
NIM : L2E 006 005  
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin  
Departemen : Universitas Diponegoro  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

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

OPTIMASI PERBANDINGAN KOEFISIEN *LIFT* DAN KOEFISIEN *DRAG*  
MAKSIMUM PADA PERANCANGAN AIRFOIL BERBASIS JARINGAN SYARAF  
TIRUAN DENGAN *BASED GRADIENT METHOD* DAN ALGORITMA GENETIKA

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

( Aditya Pratama Putra )  
NIM. L2E 006 005

## *Persembahan*

*Tugas Akhir ini kupersembahkan kepada :  
Kedua orangtuaku tercinta, Sutomo  
Hariyanto, SH dan Esti Retnani serta adikku  
tersayang Anindita Yulinda Putri yang  
senantiasa memberikan dorongan dan do'a yang  
tidak pernah putus*

## *Motto*

*"Hidup bagaikan roda yang berputar, kadang berada di atas dan kadang berada di bawah"*

*"Manfaatkanlah waktu luangmu untuk hal-hal yang positif"*

*"Berani bertindak berarti berani juga menanggung risikonya"*

## ABSTRAK

Semakin menipisnya jumlah sumber energi fosil sebagai sumber energi di Indonesia dan Dunia membuat para peneliti mencari energi alternatif untuk menggantikan energi fosil tersebut. Salah satu energi alternatif yang dapat menggantikan energi fosil adalah energi angin. Pemanfaatan energi angin ini dapat diwujudkan dalam pembuatan turbin angin yang sesuai dengan kecepatan angin di Indonesia yaitu sekitar 2.5-6 m/s. Salah satu aspek terpenting dalam perancangan sudu turbin angin tersebut adalah pembuatan geometri airfoil dimana nantinya diharapkan airfoil yang dihasilkan memiliki nilai  $C_L/C_D$  yang paling maksimum. Untuk menentukan nilai  $C_L/C_D$  yang paling maksimum tersebut pertama-pertama dilakukan simulasi terhadap *artificial neural network* untuk menentukan relasi antara geometri airfoil dengan karakteristik aerodinamiknya. Pada Tugas Akhir ini diterapkan transformasi joukowski untuk membangkitkan geometri airfoil. Selanjutnya optimasi dilakukan untuk mendapatkan geometri airfoil yang memberikan  $C_L/C_D$  maksimum. Pada optimasi dalam Tugas Akhir ini diterapkan *based-gradient method* dan algoritma genetika. Hasil yang diperoleh divalidasi menggunakan *FLUENT* dan menunjukkan  $C_L/C_D$  maksimum yang diperoleh pada Tugas Akhir ini yang cukup memadai dengan error sekitar 6%.

Kata kunci : Aerodinamika, airfoil, *artificial neural network*, transformasi joukowski, *based gradient method*, algoritma genetika, *FLUENT*

### *ABSTRACT*

The depletion of fossil energy sources as an energy source in Indonesia and the World led researchers to seek alternative energy to replace the fossil energy. One of the alternative energy sources is wind energy. The use of this wind energy in Indonesia can be realized using wind turbine in accordance with the speed winds in Indonesia (about 2.5-6 m/s). The most important aspect of wind turbine blade design is the determination of airfoil geometry which is expected have a value of  $C_L/C_D$  maximum. In order to determine the maximum value of  $C_L/C_D$ , first, simulation of artificial neural network in order for determining the relation between airfoil geometry and its aerodynamic characteristics. In this final project the joukowski transformation was applied to generate the airfoil geometry. Moreover, the optimization is conducted to get airfoil geometry which gives maximum  $C_L/C_D$ . In this final project based-gradient method and genetic algorithm were used as optimizer. The results were validated using FLUENT. It can be shown that the result are satisfies with error approximately 6%.

Keywords: Aerodynamics, airfoil, artificial neural network, transformations joukowski, based gradient method, genetic algorithm, FLUENT



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat, taufik, hidayah dan inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan sebaik-baiknya. Tugas Akhir yang berjudul “**Optimasi Perbandingan Koefisien Lift Dan Koefisien Drag Maksimum Pada Perancangan Airfoil Berbasis Jaringan Syaraf Tiruan Dengan *Based Gradient Method* Dan Algoritma Genetika**” ini dimaksudkan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Pendidikan Tingkat Sarjana Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Dalam kesempatan ini penyusun ingin menyampaikan rasa hormat dan terimakasih setulus-tulusnya kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan dorongan kepada penyusun selama penyusunan Tugas Akhir ini, antara

1. Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro beserta staf pengajar yang telah membagikan ilmu yang berguna baik di masa sekarang maupun di masa yang akan datang.
2. Dr. Ing. Ir. Ismoyo Haryanto, MT selaku Dosen Pembimbing, yang telah memberikan bimbingan, pengarahan-pengarahan dan masukan-masukan kepada penyusun hingga terselesainya Tugas Akhir ini.
3. Ir. Dwi Basuki Wibowo, MS selaku Dosen Wali, yang telah memberikan perhatian dan wejangan selama penyusun menuntut ilmu di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
4. Seluruh Dosen Teknik Mesin Universitas Diponegoro Semarang yang telah menunaikan kewajibannya dalam menyampaikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis.
5. Seluruh staf karyawan Teknik Mesin Universitas Diponegoro Semarang yang telah melaksanakan tugasnya dengan baik.
6. Kedua orang tua saya Ayahanda *Sutomo Hariyanto, SH dan ibunda Esti Retnani* serta adikku tersayang *Anindita Yulinda Putri* yang telah mencurahkan cinta,

kasih sayang, dorongan dan do'a yang tidak pernah putus sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini.

7. Partner selama pembuatan Tugas Akhir ini (Suhud, Ganang) dan juga saudara Rinal, Mas Ariyanto yang selalu memberikan masukan sehingga Tugas Akhir ini bisa selesai.
8. Saudari Susilo Dewi yang tidak henti-hentinya memberikan semangat selama pembuatan Tugas Akhir ini.
9. Seluruh penghuni kos Gg. Iwenisari 14 ( Willy, Rifki, Adri, Faruq, Budi, Bayu, Aji, Robby, Adi, Rian, Erwan, Imat, Dayat, (alm) Adi, Windy, Asrizal dkk) dan Pak Amat, terima Kasih atas tumpiangannya selama ini.
10. Seluruh angkatan 2006 "solidariry forever".
11. Teman-teman KKN Kecamatan Mayong, Kabupaten Jepara khususnya Desa Sengonbugel.
12. Semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan atas terselesaikannya Tugas Akhir ini.

Dengan penuh kerendahan hati, penyusun menyadari akan kekurangan dan keterbatasan pengetahuan yang penyusun miliki, untuk itu penyusun mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak. Akhir kata semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan semakin menambah kecintaan dan rasa penghargaan kita terhadap Teknik Mesin Universitas Diponegoro.

Semarang, Maret 2011

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN TUGAS SARJANA.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSUTUJUAN .....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	vi
MOTTO .....	vii
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR .....	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL .....	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
NOMENKLATUR .....	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Batasan Masalah.....	4
1.3. Tujuan Penelitian .....	5
1.4. Metode Penelitian.....	5
1.5. Sistematika Penulisan.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Pengertian Airfoil.....	8
2.2. Definisi dan Klasifikasi Aliran .....	9
2.2.1. Aliran <i>Inviscid dan Viscous</i> .....	11
2.2.2 Aliran Laminar dan Aliran Turbulent .....	13
2.2.3 Aliran Compressible dan Incompressible.....	14
2.2.4 Aliran <i>Internal dan External</i> .....	14
2.3. Bilangan Reynolds.....	15
2.4. Persamaan Dasar Aliran Fluida .....	16
2.4.1 Persamaan Kekekalan Massa l .....	16
2.4.2 Persamaan Kekekalan Momentum.....	18

2.4.3	Persamaan Energi .....	22
2.5.	Gaya-Gaya Aerodinamika pada Benda.....	23
2.5.1	Geometri Benda .....	23
2.5.2	Perhitungan Gaya Tahanan ( <i>Drag</i> ) dan Gaya Angkat ( <i>Lift</i> ).....	24
2.6.	Aspek Aerodinamika Dalam Perancangan Sudu Turbin Angin .....	29
2.7.	Metode Alternatif Perancangan Airfoil .....	33
2.7.1	Traansformasi Joukowski.....	33
2.7.2	<i>Artificial Neural Network</i> .....	36
2.7.3	Metode Interpolasi.....	42
2.7.4	Metode Optimasi Numerik.....	43
2.7.4.1	<i>Gradient Based Method</i> .....	47
2.7.4.2	<i>Nongradient Based Method</i> .....	49
BAB III METODE ANALISIS.....		53
3.1.	Langkah Pengerjaan.....	53
3.2.	Pemrograman Matlab.....	57
3.2.1	Simulasi pada <i>ANN</i> .....	57
3.2.2	Proses Optimasi .....	58
3.2.2.1	Menentukan Nilai <i>Constrain</i> .....	58
3.2.2.2	Melakukan Proses Interpolasi .....	58
3.2.2.3	Proses Optimasi dalam <i>Optimization Toolbox</i> .....	58
3.3.	Simulasi Numerik Pada Fluent 6.2.16 .....	60
3.3.1	Pembentukan Model dan Kondisi Batas.....	60
3.3.2	Penggenerasian <i>Mesh</i> .....	61
3.3.3	<i>Solver</i> dan Model Turbulensi.....	63
3.3.4	Pendefinisian Material .....	64
3.3.4.1	Sifat Fluida.....	64
3.3.5	Pendefinisian Kondisi Batas .....	65
3.3.5.1	<i>Velocity Inlet</i> .....	65
3.3.5.2	<i>Pressure Outlet</i> .....	66

3.3.5.3 <i>Wall Boundary Condition</i> .....	67
3.4. Proses Simulasi .....	68
3.4.1 Control Solusi .....	68
3.4.2 Solusi Parameter Aerodinamik Airfoil .....	71
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	73
4.1. Data Simulasi <i>ANN</i> .....	73
4.2 Hasil Simulasi <i>ANN</i> .....	74
4.3 Hasil Optimasi Matlab .....	77
4.3.1 Hasil Optimasi pada <i>Based-Gradient</i> Method .....	78
4.3.1.1 Data-Data yang Dibutuhkan pada <i>Based-Gradient</i> Method .....	78
4.3.1.2 Hasil Interpolasi pada <i>Based-Gradient</i> Method .....	79
4.3.1.3 Hasil Validasi <i>FLUENT</i> pada <i>Based-Gradient</i> Method .....	82
4.3.1.4 Analisa Grafik dan Pembahasan .....	84
4.3.2 Hasil Optimasi pada Metode Algoritma Genetika .....	87
4.3.2.1 Data-Data yang Dibutuhkan .....	87
4.3.2.2 Hasil Interpolasi pada Metode <i>Algoritma Genetika</i> .....	88
4.3.2.3 Hasil Validasi <i>FLUENT</i> pada Metode Algoritma Genetika .....	91
4.3.2.4 Analisa Grafik dan Pembahasan .....	93
4.4 Perbandingan Hasil Optimasi <i>Based-Gradient</i> Method dan Algoritma Genetika .....	96
4.4.1 Pada Optimasi Matlab .....	96
4.4.1.1 Grafik Perbandingan Hasil Optimasi .....	96
4.4.1.2 Analisa Grafik dan Pembahasan .....	98
4.4.2 Pada Validasi <i>FLUENT</i> .....	99
4.4.2.1 Grafik Perbandingan Validasi <i>FLUENT</i> .....	99
4.4.2.2 Analisa Grafik dan Pembahasan .....	101
4.4.3 Gambar Perbandingan Profil Geometri Airfoil .....	103
4.4.4 Prosedur alternatif perancangan airfoil .....	105

BAB V PENUTUP.....	106
5.1. Kesimpulan .....	106
5.2. Saran .....	107
DAFTAR PUSTAKA .....	108
LAMPIRAN.....	109

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 4.1</b>	Hasil interpolasi untuk airfoil hasil dari optimasi <i>Based-Gradient Method</i> .....	79
<b>Tabel 4.2</b>	Hasil iterasi pada proses analisa <i>CFD (Fluent)</i> pada <i>Based-Gradient Method</i> .	82
<b>Tabel 4.3</b>	Hasil interpolasi airfoil hasil optimasi Algoritma Genetika.....	88
<b>Tabel 4.4</b>	Hasil iterasi pada proses analisa <i>CFD (Fluent)</i> Algoritma Genetika.....	91

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Presentase sumber energi di Indonesia dan Dunia .....	1
Gambar 1.2 Profil airfoil .....	3
Gambar 2.1 Komponen dari airfoil .....	8
Gambar 2.2 Respon terhadap gaya.....	9
Gambar 2.3 Klasifikasi aliran fluida .....	10
Gambar 2.4 Berbagai daerah aliran lapisan batas diatas plat rata.....	11
Gambar 2.5 Variasi Linier dari tegangan geser terhadap laju regangan geser untuk fluida- fluida yang umum .....	12
Gambar 2.6 Visualisasi .....	13
Gambar 2.7 Contoh aliran eksternal.....	15
Gambar 2.8 Keseimbangan massa pada elemen fluida .....	17
Gambar 2.9 Komponen tegangan menurut arah sumbu-x.....	20
Gambar 2.10 Benda dua dimensi .....	23
Gambar 2.11 Benda tiga dimensi .....	24
Gambar 2.12 Benda <i>axisymmetric</i> .....	24
Gambar 2.13 Distribusi tekanan dan tegangan geser pada suatu <i>airfoil</i> .....	25
Gambar 2.14 Geometri elemen gaya pada <i>airfoil</i> .....	26
Gambar 2.15 Definisi luas planform dan luas frontal .....	28
Gambar 2.16 Geometri <i>blade</i> dengan variasi profil airfoil.....	30
Gambar 2.17 Efisiensi aerodinamik pada plat datar .....	31
Gambar 2.18 Efisiensi aerodinamik berbagai airfoil untuk bilangan Reynold $1,0 \times 10^5$ .....	31
Gambar 2.19 Efisiensi aerodinamik berbagai airfoil untuk bilangan Reynold $1,5 \times 10^5$ .....	32
Gambar 2.20. Transformasi joukowski.....	34
Gambar.2.21 Pengeseran titik pusat.....	35
Gambar 2.22 Jaringan Syaraf Biologi.....	36
Gambar 2.23 Artificial neuron .....	37
Gambar 2.24 Jaringan layar tunggal .....	38



Gambar 2.25 Jaringan layar jamak.....	39
Gambar 2.26 Jaringan recurrent.....	40
Gambar 2.27 Fungsi bias di dalam jaringan.....	41
Gambar 2.28 Prinsip dasar interpolasi .....	42
Gambar 2.29 Penulisan <i>objective function</i> dalam <i>m-file</i> di matlab.....	45
Gambar 2.30 <i>Optimization toolbox</i> dalam matlab .....	46
Gambar 2.31 Diagram alir cara kerja algoritma genetika .....	51
Gambar 3.1 Diagram alir pemrograman matlab .....	53
Gambar 3.2 Diagram alir pemodelan <i>CFD</i> .....	54
Gambar 3.3 Proses simulasi ann dengan nilai mse 1.6e-3 .....	57
Gambar 3.4 <i>Tollbox</i> optimasi pada <i>based-gradient method</i> .....	59
Gambar 3.5 <i>Toolbox</i> optimasi pada metode algoritma genetika.....	59
Gambar 3.6 Daerah asal (domain) airfoil untuk aliran dua dimensi .....	60
Gambar 3.7 Grid quadrilateral terstruktur pada domain .....	62
Gambar 3.8 Metode solusi <i>Segregated</i> .....	63
Gambar 3.9 Panel Pendefinisian Material.....	64
Gambar 3.10 <i>Panel velocity inlet</i> .....	66
Gambar 3.11 <i>Panel pressure outlet</i> .....	67
Gambar 3.12 <i>Panel wall condition</i> .....	68
Gambar 3.13 <i>Panel solution control</i> .....	69
Gambar 3.14 Tebakan awal ( <i>Initialize</i> ).....	70
Gambar 3.15 Kriteria konvergensi.....	70
Gambar 3.16 Kondisi konvergensi komputasi .....	71
Gambar 3.17 Kondisi konvergensi $C_D$ .....	72
Gambar 3.18 Kondisi konvergensi $C_L$ .....	72
Gambar 4.1 Arsitektur Jaringan ANN .....	74
Gambar 4.2 (i) <i>plot performance</i> , (ii) <i>plot training state</i> , (iii) <i>regression</i> .....	76

Gambar 4.3 Perbandingan antara target dan output .....	76
Gambar 4.4 <i>Toolbox</i> pada <i>optimtool</i> .....	77
Gambar 4.5 Hasil iterasi proses optimasi <i>based-gradient method</i> .....	75
Gambar 4.6 Airfoil hasil optimasi <i>based-gradient method</i> dengan $Re=171.147$ .....	81
Gambar 4.7 <i>Vertex-vertex</i> dengan hasil optimasi dalam bentuk file-txt .....	81
Gambar 4.8 Koefisien gaya angkat $C_L$ terhadap alfa ( $\alpha$ ) dengan $Re=171.147$ .....	84
Gambar 4.9 Koefisien gaya hambat $C_D$ terhadap alfa ( $\alpha$ ) dengan $Re=171.147$ .....	85
Gambar 4.10 Koefisien gaya angkat $C_L$ terhadap gaya hambat $C_D$ dengan $Re=171.147$ ..	85
Gambar 4.11 Koefisien $C_L/C_D$ terhadap sudut serang ( $\alpha$ ) dengan $Re=171.147$ .....	86
Gambar 4.12 Hasil iterasi proses optimasi metode algoritma genetika .....	87
Gambar 4.13 Airfoil hasil optimasi metode algoritma genetika dengan $Re=171.147$ .....	90
Gambar 4.14 <i>Vertex-vertex</i> hasil optimasi dalam format txt .....	90
Gambar 4.15 Koefisien gaya angkat $C_L$ terhadap ( $\alpha$ ) dengan $Re=171.147$ .....	93
Gambar 4.16 Koefisien gaya hambat $C_D$ terhadap ( $\alpha$ ) dengan $Re=171.147$ .....	94
Gambar 4.17 Koefisien gaya angkat $C_L$ terhadap gaya hambat $C_D$ dengan $Re=171.147$ ..	94
Gambar 4.18 Koefisien $C_L/C_D$ terhadap sudut serang ( $\alpha$ ) dengan $Re=171.147$ .....	95
Gambar 4.19 Perbandingan nilai alfa ( $\alpha$ ) terhadap $C_L$ hasil optimasi <i>based-gradient method</i> dan algoritma genetika dengan $Re=171.147$ .....	96
Gambar 4.20 Perbandingan nilai alfa ( $\alpha$ ) terhadap $C_D$ hasil optimasi <i>based-gradient method</i> dan algoritma dengan $Re=171.147$ .....	96
Gambar 4.21 Perbandingan nilai $C_L$ terhadap $C_D$ hasil optimasi <i>based-gradient method</i> dan algoritma genetika dengan $Re=171.147$ .....	97
Gambar 4.22 Koefisien $C_L/C_D$ terhadap sudut serang ( $\alpha$ ) hasil optimasi <i>based-gradient</i> <i>method</i> dan algoritma genetika dengan $Re=171.147$ .....	97
Gambar 4.23 Perbandingan nilai alfa ( $\alpha$ ) terhadap $C_L$ hasil validasi fluent pada <i>based-</i> <i>gradient method</i> dan algoritma genetika dengan $Re=171.147$ .....	99
Gambar 4.24 Perbandingan nilai alfa ( $\alpha$ ) terhadap $C_D$ hasil validasi fluent pada <i>based-</i> <i>gradient method</i> dan algoritma genetika dengan $Re=171.147$ .....	100

Gambar 4.25 Perbandingan $C_L$ terhadap $C_D$ hasil validasi fluent pada <i>based-gradient method</i> dan algoritma genetika dengan $Re=171.147$ .....	100
Gambar 4.26 Koefisien $C_L/C_D$ terhadap sudut serang ( $\alpha$ ) hasil validasi <i>Fluent</i> pada <i>based-gradient method</i> dan algoritma genetika dengan $Re=171.147$ .....	101
Gambar 4.27 Perbandingan profil geometri airfoil hasil optimasi pada metode <i>fmincon</i> dan algoritma genetika.....	103
Gambar 4.28 Prosedur alternatif perancangan airfoil .....	105

## NOMENKLATUR

$A$	Luasan acuan	$m^2$
$a$	Input	-
$b$	Radius lingkaran	$m$
$C$	Panjang <i>chord</i>	$m$
$c$	Kecepatan suara	$m/s$
$c(x)$	Fungsi yang mengembalikan vektor	-
$ceq(x)$	Fungsi yang mengembalikan vektor	-
$C_D$	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	$N$
$\frac{du}{dy}$	Perbedaan kecepatan fluida pada arah $y$	-
$E$	Energy	Joule
$E$	Fungsi rata-rata kuadrat error	-
$F(x)$	Resultan gaya aerodinamika	$N$
$F$	Fungsi yang mengembalikan skalar	-
$f(x)$	Vektor fungsi	-
$G(x)$	Percepatan gravitasi	$m/s^2$
$g$	Enthalpy	Joule/kg
$h$	Arah komponen	-
$i$	Fluks difusi	-
$J$	Arah komponen	-
$j$	Konduktivitas efektif	$W/m.K$
$k_{eff}$	Konduksi thermal	$W/m.K$
$k_t$	<i>Lift</i>	$N$
$L$	Panjang karakteristik	$m$
$L$	Mach Number	-
$M$	Vector satuan gaya arah normal	-
$\hat{n}$	Tekanan	$N/m^2$
$P$	Luasan acuan	$m^2$
$S$	Parameter koordinat pergeseran transformasi joukowski	-
$s$	Temperatur	$K$
$T$	Target	-
$t$	Vector satuan gaya arah tangensial	-
$\hat{t}$	Vector kecepatan arah sumbu $x$	$m/s$
$u$	Kecepatan arus bebas	$m/s$
$U_\infty$	Kecepatan aliran	$m/s$
$V$	Kecepatan fluida relatif terhadap obyek	$m/s$

$V_{\infty}$	Vector kecepatan arah sumbu y	m/s
$v$	Vector kecepatan arah sumbu z	m/s
$w$	Sumbu koordinat kartesius	-
$x,y,z$	Viskositas fluida	kg/m.s
$\mu$	Tegangan viskos (tegangan geser fluida)	N/m <sup>2</sup>
$\tau$	Tegangan geser	N/m <sup>2</sup>
$\tau_w$	Densitas fluida	kg/m <sup>3</sup>
$\rho$	Pertambahan waktu	s
$\delta t$	Bilangan reynold	-
$Re$	Sudut serang	0
$\alpha$	Parameter transformasi	-
$\lambda$	Bobot jaringan	-
$W$	n unit input jaringan	-
$X_n$	m unit output jaringan	-
$Y_m$	<i>Artificial Neural Network</i>	-
$ANN$	<i>mean square error</i>	-
$mse$		