



**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**OPTIMASI NILAI  $C_L/C_D$  MAKSIMUM PADA AIRFOIL  
BERBASIS *ARTIFICIAL NEURAL NETWORK* DENGAN  
MENGUNAKAN *BASED GRADIENT METHOD* DAN  
*PATTERN SEARCH***

**TUGAS AKHIR**

**GANANG AJI SAPUTRA  
L2E 006 045**

**FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN**

**SEMARANG  
JUNI 2011**

## TUGAS AKHIR

- Diberikan Kepada : Nama : Ganang Aji Saputra  
NIM : L2E 006 045
- Dosen Pembimbing : Dr.-Ing. Ir. Ismoyo Haryanto, MT
- Jangka Waktu : -
- Judul : **Optimasi Nilai  $C_L/C_D$  Maksimum Pada Airfoil Berbasis *Artificial Neural Network* Dengan Menggunakan *Based Gradient Method* Dan *Pattern Search***
- 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 *Pattern Search* untuk mendapatkan airfoil dengan  $C_L/C_D$  maksimum.

Semarang, Juni 2011

Pembimbing



Dr.-Ing. Ir. Ismoyo Haryanto, MT

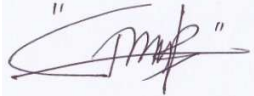
NIP. 196605212006041010

## 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 : Ganang Aji Saputra

NIM : L2E 006 045

Tanda Tangan : 

Tanggal : 28 Juni 2011

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

NAMA : Ganang Aji Saputra

NIM : L2E 006 045

Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Optimasi Nilai  $C_L/C_D$  Maksimum Pada Airfoil Berbasis  
*Artificial Neural Network* Dengan Menggunakan *Based Gradient Method* Dan *Pattern Search*

**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 : Ir. Budi Setiyana, MT

Penguji : Dr. Ir. Nazaruddin Sinaga, MS

Penguji : Dr. Susilo Adi Widyanto, ST, MT



Semarang, Juni 2011

Jurusan Teknik Mesin

Ketua,

Dr. Ir. Dipl. Ing. Berkah Fajar TK

NIP: 1959072219870310003

## **HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

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

Nama : Ganang Aji Saputra  
NIM : L2E 006 045  
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 :

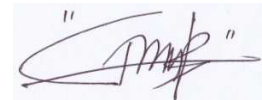
OPTIMASI NILAI  $C_L/C_D$  MAKSIMUM PADA AIRFOIL BERBASIS ARTIFICIAL NEURAL NETWORK DENGAN MENGGUNAKAN *BASED GRADIENT METHOD* DAN *PATTERN SEARCH*

berserta 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 : Juni 2011

Yang menyatakan



( Ganang Aji Saputra )  
NIM. L2E 006 045

## *Persembahan*

*Tugas Akhir ini kupersembahkan kepada :  
Ibu tercinta dan Almarhum Ayah serta adikku  
tersayang yang Selalu Memberikan Semangat  
dan do'a yang tidak pernah putus*

## *Motto*

*“Tidak ada sesuatu yang diperoleh dengan mudah, semua diperoleh dengan penuh perjuangan”*

*“Kalo tidak sekarang, Kapan Lagi..”*

*“Lakukan.. lakukan.. dan lakukan..”*

## ABSTRAK

Pada masa sekarang ini kita sedang mengalami krisis energi. Ketergantungan sumber energi fosil yang ketersediaannya semakin menipis mengharuskan kita mencari solusi untuk mencari sumber energi alternatif. Energi angin merupakan salah satu sumber energi yang berpotensi sangat baik di Indonesia yang merupakan Negara kepulauan. Akan tetapi fakta dilapangan mengatakan bahwa kecepatan angin rata-rata di Indonesia rendah antara 2,5 m/s – 6 m/s. Untuk memanfaatkan energi angin tersebut kita membutuhkan turbin angin. Dalam kasus ini kita perlu membuat sudu turbin yang mempunyai geometri airfoil yang mempunyai karakteristik aerodinamikiyang baik yaitu rasio gaya angkat terhadap gaya hambat ( $C_L/C_D$ ). Dalam hal ini, metode *Optimasi* digunakan untuk mendapatkan titik pusat airfoil yang mempunyai nilai  $C_L/C_D$  maksimum yang paling maksimum berdasarkan data karakteristik aerodinamik hasil simulasi ANN (*artificial Neural Network*). Metode optimasi yang digunakan dalam proses ini adalah *Based Gradient Method* dan *Pattern Search*. Koordinat titik pusat tersebut kita masukan ke dalam *Transformasi Joukowsky* untuk menggenerasikan profil airfoil kemudian melakukan validasi CFD (*Computational Fluid Dynamic*). Dari hasil CFD kita mendapatkan nilai  $C_L/C_D$  yang paling maksimum untuk titik pusat airfoil hasil optimasi sehingga hasilnya bisa kita bandingkan. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa Optimasi *Based Gradient Method* menghasilkan nilai  $C_L/C_D$  yang lebih baik dibandingkan Optimasi *Pattern Search*.

Kata Kunci : *Aerodinamika, airfoil, Energi angin, sudu turbin, turbin angin, optimasi, artificial neural network, transformasi joukowski, based gradient method, pattern search, computational fluid dynamic*



## ABSTRACT

Nowadays, people are facing the energy crisis. The availability of fossil energy which continuously decreases over time requires us to find the other new alternative energy. Wind energy is one of the potential alternative energy sources in Indonesia. Unfortunately, the average velocity of wind in Indonesia is very low, around 2,5 m/s - 6 m/s. Therefore, to extract this energy, we need to design the wind turbine blades which have good aerodynamic characteristic. One of the most important aspects from wind turbine blade design is to determine airfoil geometry that has a maximum ratio between lift coefficients and drag coefficient ( $C_L/C_D$ ). In this case, the Optimization method is used to find the central point of the airfoil which has a maximum value of  $C_L/C_D$  based on the aerodynamic characteristic generated from the ANN (*Artificial neural Network*) simulation. The optimization method used in this process is *Based Gradient Method* and *Pattern Search*. Using *Based Gradient* method, we inserted the central point to the *joukowski transformation* in order to generate airfoil geometry and then do a CFD (*Computational Fluid Dynamic*) validation. From the CFD, we will receive the value of maximum  $C_L/C_D$  for the central point generated from the optimization method, so we can compare both of the results. The result obtained indicated that *Based Gradient Method* optimization bears a better  $C_L/C_D$  compared to the *Pattern Search* optimization.

Keyword : *aerodynamic, optimization, airfoil, artificial neural network, joukowski transformation, based gradient method, pattern search, CFD*

## 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 Nilai  $C_L/C_D$  Maksimum pada Airfoil Berbasis Artificial Neural Network Dengan Menggunakan Based Gradient Method dan Pattern search”** 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 lain:

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. Dr. -Ing. Ir. A.P. Bayuseno, MSc selaku Dosen Wali, yang telah memberikan perhatian dan wejangan selama penyusun menuntut ilmu di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
4. Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro beserta staf pengajar yang telah memberikan yang terbaik kepada jurusan.
5. Kedua orang tua saya Ibunda dan almarhum ayah serta saudara kandungku tersayang yang telah mencurahkan cinta, kasih sayang, dorongan dan doa yang tidak pernah putus sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini.
6. Teman-teman seperjuangan dalam menyusun Tugas Akhir ini yaitu Suhud S. dan Aditya Pratama P.

7. Saudari Liliana, yang selalu memberikan semangat, kasih sayang, dan perhatiannya.
8. Teman KKN terutama saudara Saudara Hisyam yang juga ikut memberikan dorongan semangat.

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, Juni 2011

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN TUGAS SARJANA .....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	iii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN .....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	vi
MOTO .....	vii
ABSTRAK .....	viii
ABSTRACT .....	ix
KATA PENGANTAR .....	x
DAFTAR ISI .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xvi
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
NOMENKLATUR .....	xx
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1.Latar Belakang .....	1
1.2.Batasan Masalah .....	3
1.3.Tujuan Penelitian .....	4
1.4.Metode Penelitian .....	4
1.5.Sistematika Penulisan .....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1. Definisi Fluida .....	7
2.2. Klasifikasi Aliran Fluida.....	8
2.2.1. Aliran <i>Inviscid dan Viscous</i> .....	9
2.2.2. Aliran Laminar dan Aliran Turbulent.....	11

2.2.3. Aliran Compressible dan Incompressible.....	11
2.2.4. Aliran <i>Internal</i> dan <i>External</i> .....	12
2.3. Bilangan Reynolds .....	13
2.4. Persamaan Dasar Aliran Fluida .....	14
2.4.1. Persamaan Kekekalan Massa.....	14
2.4.2. Persamaan Kekekalan Momentum .....	16
2.4.3. Persamaan Energi .....	19
2.5. Gaya-Gaya Aerodinamika .....	19
2.5.1 Geometri Benda.....	20
2.5.2 Perhitungan Gaya Tahanan ( <i>Drag</i> ) dan Gaya Angkat ( <i>Lift</i> ) .....	21
2.6 Aspek Aerodinamika dalam Perancangan Sudu Turbin.....	25
2.7. Transformasi Joukowski .....	28
2.8. Artificial Neural Network.....	30
2.9 Pemrograman Matlab.....	33
2.9.1 Metode Interpolasi .....	33
2.9.2 Metode Optimasi .....	36
2.9.2.1 Optimasi Based-Gradient Method .....	37
2.9.2.2 Optimasi Pattern Search .....	39
2.10 Computational Fluid Dynamics (CFD).....	40
2.10.1 Pre-processor .....	41
2.10.2 Solver .....	41
2.10.3 Post-processor.....	41
 BAB III METODA ANALISA.....	 42
3.1. Langkah Pengerjaan.....	42
3.2. Pemograman Matlab .....	46
3.2.1 Display simulasi ANN (Artificial Neural Network).....	46
3.2.2 Toolbox Optimasi Based-Gradient Method .....	47

3.2.3 Toolbox Optimasi Metode Pattern Search.....	48
3.3. Simulasi Numerik Pada Fluent 6.2.16 .....	49
3.3.1 Pembentukan Model dan Kondisi Batas.....	49
3.3.2 Penggenerasian <i>Mesh</i> .....	50
3.3.3 <i>Solver</i> dan Model Turbulensi .....	52
3.3.4 Pendefinisian Material .....	53
3.3.5 Pendefinisian Kondisi Batas .....	54
3.4. Proses Simulasi .....	58
3.4.1 Control Solusi.....	58
3.4.2 Solusi Parameter Aerodinamik Airfoil .....	60
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	63
4.1. Data dan Hasil simulasi <i>ANN</i> .....	63
4.2 Hasil Simulasi <i>ANN</i> .....	64
4.3 Hasil Optimasi Matlab .....	67
4.3.1 Hasil Optimasi metode Based-Gradient Method.....	67
4.3.2 Hasil Optimasi metode Pattern Search .....	76
4.4 Perbandingan Hasil Optimasi Based-Gradient Method dengan Pattern Search .....	83
BAB V PENUTUP .....	88
5.1. Kesimpulan .....	88
5.2. Saran .....	89
DAFTAR PUSTAKA .....	90
LAMPIRAN .....	91

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Hasil uji grid .....	52
Tabel 4.1 Hasil interpolasi pada proses optimasi Based-Gradient Method .....	68
Tabel 4.2 Hasil iterasi pada proses analisa <i>CFD (Fluent)</i> Based-Gradient Method.....	71
Tabel 4.3 Hasil interpolasi pada proses optimasi Pattern Search .....	76
Tabel 4.4 Hasil iterasi pada proses analisa <i>CFD (Fluent)</i> Pattern Search.....	79

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Respon terhadap gaya .....	7
Gambar 2.2	Klasifikasi aerodinamika aliran .....	8
Gambar 2.3	Berbagai daerah aliran lapisan batas diatas plat datar.....	9
Gambar 2.4	Variasi Linier dari tegangan geser terhadap laju regangan geser untuk fluida- fluida yang umum .....	10
Gambar 2.5	Visualisasi : (a) Kecepatan terhadap waktu di suatu titik dalam aliran turbulen; (b) Fluktuasi turbulen dalam arah aliran .....	11
Gambar 2.6	Beberapa contoh aliran luar .....	13
Gambar 2.7	Keseimbangan massa pada elemen fluida .....	15
Gambar 2.8	Komponen tegangan menurut arah sumbu-x .....	17
Gambar 2.9	Persamaan energi menurut Hukum Thermodinamika I.....	19
Gambar 2.10	Benda dua dimensi.....	20
Gambar 2.11	Benda tiga dimensi.....	20
Gambar 2.12	Benda <i>axisymmetric</i> .....	21
Gambar 2.13	Distribusi tekanan dan tegangan pada suatu <i>airfoil</i> .....	22
Gambar 2.14	Geometri elemen gaya pada <i>airfoil</i> .....	23
Gambar 2.15	Definisi luas planform dan luas frontal.....	24
Gambar 2.16	Bentuk-bentuk <i>airfoil</i> .....	25
Gambar 2.17	Geometri <i>blade</i> dengan variasi profil <i>airfoil</i> .....	26
Gambar 2.18	Efisiensi aerodinamik pada plat datar .....	26
Gambar 2.19	Efisiensi aerodinamik berbagai airfoil untuk bilangan Reynold $1,0 \times 10^5$ .....	27
Gambar 2.20	Efisiensi aerodinamik berbagai airfoil untuk bilangan Reynold $1,5 \times 10^5$ .....	27
Gambar 2.21	Lingkaran pada bidang .....	29
Gambar 2.22	Penggeseran titik pusat .....	30



Gambar 2.23 Jaringan Syaraf Biologi.....	31
Gambar 2.24 Artificial neuron.....	32
Gambar 2.25 Prinsip dasar interpolasi .....	34
Gambar 3.1 Diagram Alir Pemograman MATLAB .....	42
Gambar 3.2 Diagram alir pemodelan <i>ANN</i> pada <i>Matlab</i> .....	43
Gambar 3.3 Diagram Alir Pemodelan CFD.....	44
Gambar 3.4 Proses simulasi ANN dengan nilai mse $1.6e-3$ .....	46
Gambar 3.5 Toolbox dengan based-gradient method .....	47
Gambar 3.6 Toolbox dengan metode pattern search.....	48
Gambar 3.7 Daerah asal (domain) untuk airfoil dalam aliran dua dimensi .....	49
Gambar 3.8 Grid quadrilateral terstruktur pada domain .....	51
Gambar 3.9 Stream function pada <i>grid</i> .....	52
Gambar 3.10 Metode solusi <i>Segregated</i> .....	53
Gambar 3.11 Panel Pendefinisian Material.....	54
Gambar 3.12 Panel <i>velocity_Inlet</i> .....	56
Gambar 3.13 Panel <i>pressure outlet</i> .....	57
Gambar 3.14 Panel <i>wall condition</i> .....	58
Gambar 3.15 Tebakan awal ( <i>Initialize</i> ) .....	59
Gambar 3.16 Kondisi konvergensi komputasi ( $1e-5$ ) .....	60
Gambar 3.17 Kondisi konvergensi komputasi $C_D$ ( $1e-5$ ) .....	61
Gambar 3.18 Kondisi konvergensi komputasi $C_L$ ( $1e-5$ ) .....	61
Gambar 3.19 Kondisi konvergensi komputasi $C_m$ ( $1e-5$ ).....	62
Gambar 4.1 (i) Grafik plot performance .....	65
Gambar 4.1 (ii) Grafik plot training state .....	65
Gambar 4.1 (iii) Grafik regression.....	65
Gambar 4.2 Perbandingan antara target dan output.....	66
Gambar 4.3 Toolbox dalam proses optimasi .....	67
Gambar 4.4 Hasil iterasi proses optimasi <i>based-gradient method</i> .....	69

Gambar 4.5	Bentuk Airfoil hasil optimasi <i>based-gradient method</i> .....	71
Gambar 4.6	Vertex-vertex dengan hasil optimasi dalam bentuk file-txt .....	71
Gambar 4.7	Koefisien gaya angkat $C_L$ terhadap sudut serang ( $\alpha$ ) .....	74
Gambar 4.8	Koefisien gaya angkat $C_D$ terhadap sudut serang ( $\alpha$ ).....	74
Gambar 4.9	Koefisien gaya angkat $C_L$ terhadap koefisien gaya hambat $C_D$ .....	75
Gambar 4.10	Hasil iterasi proses optimasi metode Pattern Search .....	76
Gambar 4.11	Airfoil hasil optimasi metode pattern search .....	78
Gambar 4.12	Vertex-vertex dengan hasil optimasi dalam bentuk file-txt .....	78
Gambar 4.13	Koefisien gaya angkat $C_L$ terhadap sudut serang ( $\alpha$ ).....	81
Gambar 4.14	Koefisien gaya angkat $C_D$ terhadap sudut serang ( $\alpha$ ).....	82
Gambar 4.15	Koefisien gaya angkat $C_L$ terhadap koefisien gaya hambat $C_D$ .....	82
Gambar 4.16	Koefisien gaya angkat $C_L$ terhadap sudut serang ( $\alpha$ ).....	83
Gambar 4.17	Koefisien gaya angkat $C_D$ terhadap sudut serang ( $\alpha$ ).....	84
Gambar 4.18	Koefisien gaya angkat $C_L$ terhadap koefisien gaya hambat $C_D$ .....	84
Gambar 4.19	Koefisien gaya angkat $C_L$ terhadap sudut serang ( $\alpha$ ) .....	85
Gambar 4.20	Koefisien gaya angkat $C_D$ terhadap sudut serang ( $\alpha$ ).....	86
Gambar 4.21	Koefisien gaya angkat $C_L$ terhadap koefisien gaya hambat $C_D$ .....	86
Gambar 4.22	Perbandingan geometri airfoil antara <i>based gradient method</i> dan <i>pattern search</i> .....	87

## 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
$F(x)$	Fungsi rata-rata kuadrat error	-
$F$	Resultan gaya aerodinamika	N
$f(x)$	Fungsi yang mengembalikan skalar	-
$G(x)$	Vektor fungsi	-
$g$	Percepatan gravitasi	$m/s^2$
$h$	Enthalpy	Joule/kg
$i$	Arah komponen	-
$J$	Fluks difusi	-

$j$	Arah komponen	-
$k_{eff}$	Konduktivitas efektif	W/m.K
$k_t$	Konduksi thermal	W/m.K
$L$	<i>Lift</i>	N
$L$	Panjang karakteristik	m
$M$	Mach Number	-
$\hat{n}$	Vector satuan gaya arah normal	-
$P$	Tekanan	N/m <sup>2</sup>
$S$	Luasan acuan	m <sup>2</sup>
$s$	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
$U_\infty$	Kecepatan arus bebas	m/s
$V$	Kecepatan aliran	m/s
$V_\infty$	Kecepatan fluida relatif terhadap obyek	m/s
$v$	Vector kecepatan arah sumbu y	m/s
$w$	Vector kecepatan arah sumbu z	m/s
$x,y,z$	Sumbu koordinat kartesius	-
$\mu$	Viskositas fluida	kg/m.s
$\tau$	Tegangan viskos (tegangan geser fluida)	N/m <sup>2</sup>
$\tau_w$	Tegangan geser	N/m <sup>2</sup>
$\rho$	Densitas fluida	kg/m <sup>3</sup>

$\delta t$	Pertambahan waktu	s
$Re$	Bilangan reynold	-
$\alpha$	Sudut serang	0
$\lambda$	Parameter transformasi	-
$W$	Bobot jaringan	-
$X_n$	n unit input jaringan	-
$Y_m$	m unit output jaringan	-
$ANN$	<i>Artificial Neural Network</i>	-
$mse$	<i>mean square error</i>	-