



**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**OPTIMASI  $C_L/C_D$  MAKSIMUM PADA PERANCANGAN  
AIRFOIL BERBASIS *ARTIFICIAL NEURAL NETWORK*  
DENGAN *BASED GRADIENT METHOD* DAN *NONLINEAR  
LEAST SQUARES***

**TUGAS AKHIR**

**SUHUD SUBEKTI**

**L2E 006 081**

**FAKULTAS TEKNIK**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**SEMARANG**

**MARET 2011**

## TUGAS AKHIR

Diberikan Kepada : Nama : Suhud Subekti  
NIM : L2E 006 081

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

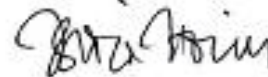
Jangka Waktu : 7 bulan

Judul : **Optimasi  $C_L/C_D$  Maksimum Pada Perancangan Airfoil Berbasis *Artificial Neural Network* Dengan *Based Gradient Method* Dan *Nonlinear Least Squares***

Isi Tugas : 1. Mengoptimasikan  $C_L/C_D$  hasil dari metode perancangan langsung (*direct design method*) berdasarkan *Artificial Neural Network* (ANN) untuk mendapatkan  $C_L/C_D$  maksimum yang paling maksimum.  
2. Mengetahui karakteristik aerodinamika airfoil hasil optimasi dengan transformasi Joukowski berdasarkan metode komputasi dinamika fluida (CFD).

Semarang, 23 Maret 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 : Suhud Subekti

NIM : L2E 006 081

Tanda Tangan :

Tanggal : 23 Maret 2011

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

NAMA : Subud Subekti  
NIM : L2E 006 081  
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Optimasi  $C_L/C_D$  Maksimum Pada Perancangan Airfoil Berbasis  
*Artificial Neural Network Dengan Based Gradient Method Dan  
Nonlinear Least Squares*

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. MSK. Tony Suryo Utomo, ST, MT  
Penguji : Ir. Samar Hadi Suryo

()  
()  
()

Semarang, 23 Maret 2011

Jurusan Teknik Mesin  
Kotus,

  
Dr. Dpl. Ing. Ir. Berkah Fajar 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 : Suhud Subekti  
NIM : L2E 006 081  
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 dan Dr.-Ing. Ir. Ismoyo Haryanto, MT sebagai pembimbing Tugas Akhir yang berjudul :

OPTIMASI  $C_L/C_D$  MAKSIMUM PADA PERANCANGAN AIRFOIL BERBASIS  
*ARTIFICIAL NEURAL NETWORK* DENGAN *BASED GRADIENT METHOD* DAN  
*NONLINEAR LEAST SQUARES*

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 mempublikasikan tugas akhir saya dan Dr.-Ing. Ir. Ismoyo Haryanto, MT sebagai pembimbing Tugas Akhir 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 : 23 Maret 2011

Yang menyatakan

( Suhud Subekti )  
NIM. L2E 006 081

# *Persembahkan*

***Tugas Akhir ini kupersembahkan teruntuk Ayah  
tercinta dan Almarhumah Ibu serta kakak dan  
adikku tersayang***

***Motto :***

*"The secret of success is learning how to use the resources you already have to create progress in improving the quality of life"*

*"Selalu berusaha apa yang kita inginkan dengan menggunakan apa yang kita miliki dan selalu berdoa serta selalu bersyukur apa yang kita peroleh"*

*"Gunakan waktumu hari ini sebaik mungkin, karena waktu hari ini tidak bisa terulang, dan besok untuk memperbaiki hari ini dan merencanakan ke depannya"*

## ABSTRACT

The Most of the power plants using fossil energy, while reserves of fossil resources are decreasing. This situation is imposing to develop the use of renewable energy sources which are environmental friendly. One of those sources is wind energy. In implementation of wind energy can be realized by using wind turbines. Hence the selection of the proper airfoil is most important aspects of a wind turbine blade design. For this purpose the airfoil which has maximum lift to drag ratio ( $C_L/C_D$ ) has to be choosen. In this design method, first the training of ANN (*artificial neural network*) that will be used as the optimization process to get the airfoil geometry was conducted. Optimization methods which are used in this optimization process are *based-gradient method* and *nonlinear least squares*.

Then the central point from the results of the optimization, is applied in the transformation of complex variables (*transformation Joukowski*) to generate the airfoil geometry. Followed by CFD (Computational Fluid Dynamics) to obtain coefficients of lift and drag maximum numerically, using a variation of several angles of attack. From the CFD process the value of  $C_L/C_D$  are obtained. Comparing of maximum  $C_L/C_D$  values from optimization and CFD analysis showed that the maximum  $C_L/C_D$  values at optimization process, using *based-gradient method* and *nonlinear least squares* are 31.10802 and 22.6107 respectively. Meanwhile from CFD analysis those values are 29.47179 and 30.03736 respectively. It can be concluded that maximum  $C_L/C_D$  from based-gradient method is better.

**Keyword :** *Aerodynamics, Artificial Neural Network, Computational Fluid Dynamics, Blade, Wind Turbine, Joukowski Transformation, Based-Gradient Method, Nonlinear Least Squares.*



## ABSTRAK

Sebagian besar pembangkit listrik menggunakan energi fosil, sedangkan cadangan sumber daya fosil semakin menipis. Hal ini mendorong perlunya dikembangkan teknologi pemanfaatan sumber energi terbarukan serta ramah lingkungan. Salah satu sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan yang tersedia di alam adalah energi angin. Dalam pelaksanaannya energi angin dapat dimanfaatkan dengan menggunakan turbin angin. Maka pemilihan airfoil yang tepat merupakan salah satu aspek terpenting sebuah sudu turbin angin. Dalam aplikasinya profil airfoil yang diinginkan adalah yang memiliki rasio gaya angkat terhadap gaya hambat ( $C_L / C_D$ ) paling besar. Dalam Metode Perancangan ini, mula-mula melatih ANN (*artificial neural network*) yang nantinya akan digunakan sebagai proses optimasi, untuk mendapatkan geometri airfoil. Metode optimasi yang digunakan dalam proses optimasi ini adalah *based-gradient method* dan *nonlinear least squares*.

Kemudian titik pusat yang didapat dari hasil optimasi, digunakan sebagai masukan dalam transformasi variabel kompleks (transformasi Joukowski) untuk membangkitkan airfoil. Dilanjutkan dengan CFD (*Computational Fluid Dynamics*) untuk mendapatkan nilai koefisien *lift* dan koefisien *drag* secara numerik, dengan menggunakan variasi beberapa sudut. Dari proses CFD kita akan mendapatkan nilai  $C_L/C_D$  yang paling maksimum. Hasil antara nilai  $C_L/C_D$  maksimum dari optimasi dan analisa CFD dibandingkan. Nilai  $C_L/C_D$  maksimum pada proses optimasi, yaitu 31,10802 untuk *based-gradient method* dan 22,6107 untuk metode *nonlinear least squares*, sedangkan pada proses analisa CFD, yaitu 29,47179 untuk *based-gradient method* dan 30,03736 untuk metode *nonlinear least squares*. maka dapat disimpulkan bahwa nilai  $C_L/C_D$  dari *based-gradient method* lebih baik daripada metode *nonlinear least squares*.

**Kata kunci:** Aerodinamika, *Artificial Neural Network*, *Computational Fluid Dynamics*, Sudu, Turbin Angin, Transformasi Joukowski, *Based-Gradient Method*, *Nonlinear Least Square*

## 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 Perancangan Airfoil Berbasis *Artificial Neural Network* Dengan *Based Gradient Method* dan *Nonlinear Least Squares*”** 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. 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.
2. Dr. Jamari, ST. MT selaku Dosen Wali, yang telah memberikan perhatian dan wejangan selama penyusun menuntut ilmu di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
3. 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.
4. Kedua orang tua saya Ayahanda dan almarhumah ibunda serta saudara kandungku tersayang yang telah mencurahkan cinta, kasih sayang, dorongan dan doa yang tidak pernah putus sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini.
5. Teman-teman seperjuangan dalam menyusun Tugas Akhir : Ganang Aji S. dan Aditya Pratama P.

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, 23 Maret 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   |
| MOTTO                                     | vii  |
| ABSTRAK                                   | viii |
| ABSTRACT                                  | ix   |
| KATA PENGANTAR                            | x    |
| DAFTAR ISI                                | xii  |
| DAFTAR TABEL                              | xv   |
| DAFTAR GAMBAR                             | xvi  |
| NOMENKLATUR                               | xix  |
| <br>                                      |      |
| BAB I PENDAHULUAN                         | 1    |
| 1.1.Latar Belakang                        | 1    |
| 1.2.Batasan Masalah                       | 4    |
| 1.3.Tujuan Penelitian                     | 4    |
| 1.4.Metode Penelitian                     | 5    |
| 1.5.Sistematika Penulisan                 | 5    |
| <br>                                      |      |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA                   | 7    |
| 2.1. Definisi dan Ciri-Ciri Aliran Fluida | 7    |

|  |        |
|--|--------|
| 2.1.1. Klasifikasi Aliran  | 9      |
| 2.1.2. Aliran <i>Inviscid dan Viscous</i>                                      | 10     |
| 2.1.3. Aliran Laminar dan Aliran Turbulent                                     | 12     |
| 2.1.4. Aliran Compressible dan Incompressible                                  | 13     |
| 2.1.5. Aliran <i>Internal dan External</i>                                     | 13     |
| 2.2. Bilangan Reynolds   | 14     |
| 2.3. Persamaan Dasar Aliran Fluida   | 15     |
| 2.3.1. Persamaan Kekekalan Massa   | 15     |
| 2.3.2. Persamaan Kekekalan Momentum  | 17     |
| 2.3.3. Persamaan Energi  | 20     |
| 2.4. Gaya-Gaya Aerodinamika  | 20     |
| 2.4.1 Geometri Benda   | 21     |
| 2.4.2 Perhitungan Gaya Tahanan ( <i>Drag</i> ) dan Gaya Angkat ( <i>Lift</i> ) | 22     |
| 2.5 Aspek Aerodinamika dalam Perancangan Sayap Pesawat Terbang                 | 26     |
| 2.6. Transformasi Joukowski  | 29     |
| 2.7. Artificial Neural Network   | 31     |
| 2.8 Matlab   | 34     |
| 2.8.1 Metode Interpolasi   | 34     |
| 2.8.2 Metode Optimasi  | 37     |
| 2.8.2.1 Optimasi Based-Gradient Method   | 39     |
| 2.8.2.2 Optimasi Nonlinear Least Squares                                       | 40     |
| 2.9 Computational Fluid Dynamics (CFD)   | 42     |
| <br>BAB III METODA ANALISA   | <br>44 |
| 3.1. Langkah Pengerjaan  | 44     |
| 3.2. Pemograman Matlab   | 47     |
| 3.2.1 Display simulasi ANN (Artificial Neural Network)                         | 47     |
| 3.2.2 Toolbox Optimasi Based-Gradient Method                                   | 48     |
| 3.2.3 Toolbox Optimasi Metode Nonlinear Least Squares                          | 49     |

|  |    |
|--|----|
| 3.3. Simulasi Numerik Pada Fluent 6.2.16   | 50 |
| 3.3.1 Pembentukan Model dan Kondisi Batas  | 50 |
| 3.3.2 Penggenerasian <i>Mesh</i>   | 51 |
| 3.3.3 <i>Solver</i> dan Model Turbulensi   | 53 |
| 3.3.4 Pendefinisian Material   | 54 |
| 3.3.5 Pendefinisian Kondisi Batas  | 55 |
| 3.4. Proses Simulasi   | 58 |
| 3.4.1 Control Solusi   | 58 |
| 3.4.2 Solusi Parameter Aerodinamik Airfoil   | 60 |
| <br>   |    |
| BAB IV HASIL DAN ANALISA HASIL   | 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 Non Linear Squares                                     | 76 |
| 4.4 Perbandingan Hasil Optimasi Based-Gradient Method<br>dengan Non Linear Squares | 85 |
| <br>   |    |
| BAB V PENUTUP  | 90 |
| 5.1. Kesimpulan  | 90 |
| 5.2. Saran   | 91 |
| <br>   |    |
| DAFTAR PUSTAKA   | 92 |
| LAMPIRAN   | 93 |

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel 4.1 Hasil interpolasi pada proses optimasi Based-Gradient Method                | 69 |
| Tabel 4.2 Hasil iterasi pada proses analisa <i>CFD (Fluent)</i> Based-Gradient Method | 72 |
| Tabel 4.3 Hasil interpolasi pada proses optimasi Non Linear Squares                   | 78 |
| Tabel 4.4 Hasil iterasi pada proses analisa <i>CFD (Fluent)</i> Non Linear Squares    | 81 |

## DAFTAR GAMBAR

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Gambar 2.1  | Respon terhadap gaya .....   | 8  |
| Gambar 2.2  | Fluida .....   | 8  |
| Gambar 2.3  | Klasifikasi aerodinamika aliran .....  | 9  |
| Gambar 2.4  | Berbagai daerah aliran lapisan batas diatas plat datar. ....   | 10 |
| Gambar 2.5  | Variasi Linier dari tegangan geser terhadap laju regangan geser untuk fluida-<br>fluida yang umum .....                            | 11 |
| Gambar 2.6  | Visualisasi : (a) Kecepatan terhadap waktu di suatu titik dalam aliran<br>turbulen; (b) Fluktuasi turbulen dalam arah aliran ..... | 12 |
| Gambar 2.7  | Beberapa contoh aliran luar.....   | 14 |
| Gambar 2.8  | Keseimbangan massa pada elemen fluida .....  | 16 |
| Gambar 2.9  | Komponen tegangan menurut arah sumbu-x .....   | 18 |
| Gambar 2.10 | Benda dua dimensi.....   | 21 |
| Gambar 2.11 | Benda tiga dimensi .....   | 21 |
| Gambar 2.12 | Benda <i>axisymmetric</i> .....  | 22 |
| Gambar 2.13 | Distribusi tekanan dan tegangan pada suatu <i>airfoil</i> .....  | 23 |
| Gambar 2.14 | Geometri elemen gaya pada <i>airfoil</i> .....   | 24 |
| Gambar 2.15 | Definisi luas planform dan luas frontal.....   | 25 |
| Gambar 2.16 | Bentuk-bentuk <i>airfoil</i> .....   | 26 |
| Gambar 2.17 | Geometri <i>blade</i> dengan variasi profil <i>airfoil</i> .....   | 27 |
| Gambar 2.18 | Efisiensi aerodinamik pada plat datar .....  | 27 |
| Gambar 2.19 | Efisiensi aerodinamik berbagai airfoil untuk bilangan<br>Reynold $1,0 \times 10^5$ .....   | 28 |
| Gambar 2.20 | Efisiensi aerodinamik berbagai airfoil untuk bilangan<br>Reynold $1,5 \times 10^5$ .....   | 28 |
| Gambar 2.21 | Lingkaran pada bidang .....  | 30 |
| Gambar 2.22 | Penggeseran titik pusat .....  | 31 |



|   |    |
|---|----|
| Gambar 2.23 Jaringan Syaraf Biologi.....  | 32 |
| Gambar 2.24 Artificial neuron .....   | 33 |
| Gambar 2.25 Prinsip dasar interpolasi .....                                     | 35 |
| Gambar 3.1 Diagram Alir Pemograman MATLAB .....                                 | 44 |
| Gambar 3.2 Diagram Alir Pemodelan CFD .....                                     | 45 |
| Gambar 3.3 Proses simulasi ANN dengan nilai mse $1.6e-3$ .....                  | 47 |
| Gambar 3.4 Toolbox dengan based-gradient method .....                           | 48 |
| Gambar 3.5 Toolbox dengan metode non linear squares .....                       | 49 |
| Gambar 3.6 Daerah asal (domain) untuk airfoil dalam aliran dua dimensi .....    | 50 |
| Gambar 3.7 Grid quadrilateral terstruktur pada domain .....                     | 52 |
| Gambar 3.8 Metode solusi <i>Segregated</i> .....                                | 53 |
| Gambar 3.9 Panel Pendefinisian Material.....                                    | 54 |
| Gambar 3.10 Panel <i>velocity_Inlet</i> .....                                   | 56 |
| Gambar 3.11 Panel <i>pressure outlet</i> .....                                  | 57 |
| Gambar 3.12 Panel <i>wall condition</i> .....                                   | 58 |
| Gambar 3.13 Tebakan awal ( <i>Initialize</i> ) .....                            | 59 |
| Gambar 3.14 Kondisi konvergensi komputasi ( $1e-5$ ).....                       | 60 |
| Gambar 3.15 Kondisi konvergensi komputasi $C_D$ ( $1e-5$ ).....                 | 61 |
| Gambar 3.16 Kondisi konvergensi komputasi $C_L$ ( $1e-5$ ) .....                | 61 |
| Gambar 3.17 Kondisi konvergensi komputasi $C_m$ ( $1e-5$ ).....                 | 62 |
| Gambar 4.1 (i) Grafik plot performance .....                                    | 64 |
| 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> .....     | 68 |
| Gambar 4.5 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 ( $\alpha$ ) .....        | 75 |
| Gambar 4.9  | Koefisien gaya angkat $C_L$ terhadap koefisien gaya hambat $C_D$ .....      | 75 |
| Gambar 4.10 | Hasil iterasi proses optimasi metode nonlinear least squares .....          | 77 |
| Gambar 4.11 | Airfoil hasil optimasi metode nonlinear least squares .....                 | 79 |
| Gambar 4.12 | Vertex-vertex dengan hasil optimasi dalam bentuk file-txt .....             | 80 |
| Gambar 4.13 | Koefisien gaya angkat $C_L$ terhadap sudut serang ( $\alpha$ ).....         | 83 |
| Gambar 4.14 | Koefisien gaya angkat $C_D$ terhadap sudut serang ( $\alpha$ ) .....        | 83 |
| Gambar 4.15 | Koefisien gaya angkat $C_L$ terhadap koefisien gaya hambat $C_D$ .....      | 84 |
| Gambar 4.16 | Koefisien gaya angkat $C_L$ terhadap sudut serang ( $\alpha$ ).....         | 85 |
| Gambar 4.17 | Koefisien gaya angkat $C_D$ terhadap sudut serang ( $\alpha$ ) .....        | 85 |
| Gambar 4.18 | Koefisien gaya angkat $C_L$ terhadap koefisien gaya hambat $C_D$ .....      | 86 |
| Gambar 4.19 | Koefisien gaya angkat $C_L$ terhadap sudut serang ( $\alpha$ ) .....        | 87 |
| Gambar 4.20 | Koefisien gaya angkat $C_D$ terhadap sudut serang ( $\alpha$ ) .....        | 87 |
| Gambar 4.21 | Koefisien gaya angkat $C_L$ terhadap koefisien gaya hambat $C_D$ .....      | 88 |
| Gambar 4.22 | Perbandingan geometri airfoil antara based <i>gradient method</i> dan ..... | 89 |

## 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        |
| —         | 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>  |
|            | 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>         | - |