



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**ANALISA KARAKTERISTIK HYDRODINAMIK
PADA HYDROFOIL NACA 0015 DENGAN MENGGUNAKAN
COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC (CFD)**

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**RIO RISNALDI
L2E 004 431**

**FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN**

**SEMARANG
APRIL 2011**

TUGAS SARJANA

Diberikan kepada :
Nama : Rio Risnaldi
N I M : L2E 004 431
Pembimbing : Ir. Sudargana, MT
Jangka waktu :
Judul : **Analisa Karakteristik Hidrodinamik pada Hydrofoil NACA 0015 Menggunakan Computational Fluid Dynamic (CFD)**
Isi tugas :

1. Mengetahui karakteristik hidrodinamik *hydrofoil* NACA 0015 dan pengaruhnya terhadap *drag coefficient* dan *lift coefficient*
2. Menyusun database dari NACA 0015 berdasarkan variasi sudut serang 0-360 derajat
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 0015 dengan verifikasi perbandingan dari data literatur yang ada sebelumnya.

Semarang, 5 April 2011

Pembimbing,



Ir. Sudargana, MT

NIP. 194 811 251 986 031 002

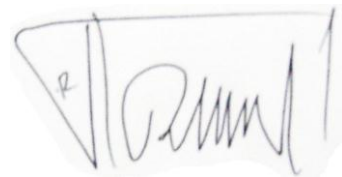
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

NAMA : Rio Risnaldi

NIM : L2E 004 431

Tanda tangan :

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Rio Risnaldi', enclosed within a hand-drawn rectangular border.

Tanggal : 28 Maret 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Rio Risnaldi

Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Analisa Karakteristik Hydrodinamik pada Hydrofoil NACA 0015 Dengan Menggunakan Computational Fluid Dynamic (CFD)

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

TIM PENGUJI

Pembimbing I : Ir. Sudargana, MT.

()

Penguji : Ir. Arijanto, MT.

()

Penguji : Ir. Sugiyanto, DEA

()

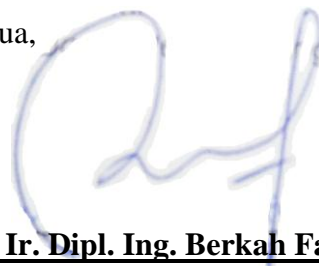
Penguji : Dr. Jamari, ST, MT.

()

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 : Rio Risnaldi
NIM : L2E 004 431
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 0015 Dengan Menggunakan Computational Fluid Dynamic (CFD)

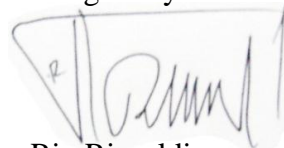
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang

Pada Tanggal : 28 Maret 2010

Yang menyatakan



Rio Risnaldi

NIM: L2E004 431

ABSTRACT

Nowadays, the demand of electricity has increased in Indonesia. If this condition keep increasing, Indonesia would be threatened by the electricity shortages. So that, as a country which is surrounded by sea, Indonesia is better to begin exploit the sufficient energy of marine current to solve the restriction of electricity energy. Moreover, this condition is supported by the developing of Gorlov marine current turbine which operates on the speed of marine current starts at 0.6 m/s with high efficiency when it compared with others marine current turbines.

Among of the most important thing which is determines the level of Gorlov turbine efficiency is selecting appropriate hydrofoil. In this research a methodology of hydrofoil design based on computation has been developed. By using the mathematical physical formulation modeling and numerical method in Grid Generation for Computational Fluid Dynamic (CFD) simulation programme, this methodology can be used to find out the comparative analysis of Hidrodynamic characteristics of NACA 0015 hydrofoil.

Result of this research showed that the computational simulation of $\alpha = 0^\circ - 360^\circ$ have a characteristic fluctuation data in angle of attack distance on the top sinusodial curve. This result is different from previous experiment data.

Key words: *Hydrofoil NACA 0015, Lift Coefficient, Drag Coefficient, Angle of Attack.*

ABSTRAK

Dewasa ini, kebutuhan akan listrik di Indonesia mengalami peningkatan. Jika kondisi ini terus meningkat, maka Indonesia suatu saat akan terancam mengalami kelangkaan energi listrik. Untuk itu, sebagai negara yang sebagian besar terdiri atas perairan, Indonesia sebaiknya mulai memanfaatkan potensi energi arus air laut untuk mengatasi kelangkaan energi listrik tersebut. Terlebih potensi ini kini didukung dengan dikembangkannya turbin arus air laut Gorlov yang dapat bekerja pada kecepatan arus air mulai dari 0,6 m/s dengan efisiensi tinggi dibandingkan dengan turbin arus air laut lainnya.

Diantara bagian terpenting yang menentukan tingkat efisiensi turbin Gorlov adalah pemilihan *hydrofoil* yang tepat. Suatu metodologi sistem perancangan *hydrofoil* berbasis simulasi komputasi telah dikembangkan dalam penelitian ini. Dengan mengacu pada sistem permodelan formulasi fisika matematika dan metode numerik *Grid Generation* dalam program simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD), maka metode ini akan membantu dalam memprediksi fenomena aliran fluida pada *hydrofoil* NACA 0015 melalui analisa tahanan ini.

Dari hasil yang diperoleh, dengan metode ini menunjukkan perhitungan simulasi dari $\alpha = 0^\circ - 360^\circ$ menunjukkan data karakteristik fluktuatif pada rentang sudut serang yang berada disekitar puncak kurva sinusoidal. Hal ini berbeda jika dibandingkan dengan data eksperiment yang sudah ada sebelumnya.

Kata kunci: *Hydrofoil* NACA 0015, Koefisien Lift, Koefisien Drag, Sudut Serang.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur hanya bagi Allah swt. Rabb yang memberikan berbagai macam kenikmatan. Untuk hidup, beriman dan beramal sholeh. Dia-lah yang menganugerahkan berbagai macam kemudahan dalam berfikir sehingga penulis mampu menyelesaikan penulisan Tugas Akhir yang berjudul **“Analisa Karakteristik Aerodinamik pada Hydrofoil NACA 0015 Menggunakan Computational Fluid Dynamic (CFD)”** yang dimaksudkan sebagai syarat kelulusan dan guna memperoleh gelar Sarjana Strata-1 (S-1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Syukur kepada Allah SWT, hanya kata itu yang selayaknya penulis sampaikan, sehingga penulis dapat melewati masa studi, mendapatkan banyak ilmu pengetahuan dan pengalaman, serta pada akhirnya menyelesaikan Tugas Akhir yang merupakan tahap akhir dari proses untuk memperoleh gelar sarjana Teknik Mesin Universitas Diponegoro.

Keberhasilan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tentunya tidak terlepas dari bantuan orang-orang yang dengan segenap hati memberikan bantuan, bimbingan dan dukungan, baik moral maupun material. Oleh karenanya, penulis menghaturkan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir Sudargana, MT selaku dosen pembimbing, yang telah begitu banyak memberikan bimbingan, pengarahan dan pengetahuan tentang banyak hal kepada penulis, terutama dalam pengerjaan dan penyelesaian Tugas Sarjana ini.
2. Semua pihak yang telah membantu penulis dengan tulus.

Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi orang yang membacanya dan kelak di kemudian hari ada generasi penerus yang mampu menyempurnakan kekurangan penulis.

Semarang, 28 Maret 2011

Penulis

MOTTO :

“ Dan seandainya pohon-pohon di bumi menjadi pena dan laut (menjadi tinta) ,
ditambahkan kepadanya tujuh laut (lagi) sesudah (kering)nya, niscaya tidak akan
habis-habisnya (dituliskan kalimat Allah ^[1183]). Sesungguhnya Allah Maha Perkasa
lagi Maha Bijaksana.”

(Q.S Luqman, ayat 31)

"Kami, ilmuwan-ilmuwan mengungkapkan apa-apa yang belum diketahui orang,
insinyur-insinyur kemudian membuatnya menjadi bermanfaat."

(Theodore von· Karman, Ilmuan masyur, Bapak Dinamika Fluida)

KATA PERSEMBAHAN

Tugas Sarjana ini aku persembahkan untuk orang-orang yang senantiasa menyayangi dan menginspirasi, atas segala kebaikan dan dukungan yang mereka berikan.

Teruntuk :

Ibu dan Ayahanda yang kusayangi, yang dengan tulus merawat dan membesarkanku dengan cinta. Semoga Allah membalas segala amal kebaikan kalian dengan segala perlindungan dan jaminan syurga

Kak Rina, kak Rizal, beserta keluarga besar yang senantiasa memberikan dukungan. Doakan Rio agar bisa menjadi anak yang baik dan mampu membanggakan keluarga.

[The Best of You is The Most Contribute for The People]

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN TUGAS SARJANA	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
ABSTRACT	iv
ABSTRAK	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
NOMENKLATUR	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Metode Penyelesaian Masalah	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Aliran dan Klasifikasinya	6
2.1.1 Aliran <i>Inviscid dan Viscous</i>	8
2.1.2 Aliran <i>Laminar dan Turbulent</i>	10
2.1.3 Aliran <i>Compressible dan Incompressible</i>	11
2.1.4 Aliran <i>Internal dan External</i>	12
2.2 Persamaan Dasar Aliran Fluida	13
2.2.1 Persamaan Kekekalan Massa	13
2.2.2 Persamaan Kekekalan Momentum	14

2.2.3	Persamaan Energi	17
2.3	Bilangan Reynolds	18
2.4	Aerodinamika dan Gaya pada Benda	18
2.4.1	Geometri Benda	18
2.4.2	Perhitungan Gaya Tahanan (<i>Drag</i>) dan Gaya Angkat (<i>Lift</i>).....	20
2.4.3	Jenis Tahanan	24
2.4.4	Lapisan Batas	25
2.5	<i>Hydrofoil</i>	29
2.5.1	Perkembangan <i>Airfoil (hydrofoil)</i> NACA (<i>National Advisory Committee for Aeronautics</i>)	29
2.5.2	Struktur <i>Hydrofoil</i>	35
2.4.3	Karakteristik <i>Hydrofoil</i>	36
2.4.4	Prinsip Kerja <i>Hydrofoil</i>	37
2.4.5	Prinsip Kerja <i>Hydrofoil</i> pada <i>Cross Flow Turbine</i>	41
BAB III PEMODELAN CFD		44
3.1	Model Benda	44
3.2	Langkah Pengerjaan	44
3.3	Langkah pengerjaan CFD dengan GAMBIT dan Fluent 6.2.16	47
3.3.1	Pembuatan Geometri Pada GAMBIT	48
3.3.1.1	Memulai GAMBIT	49
3.3.1.2	Mengimpor Kerangka <i>Hydrofoil</i>	51
3.3.1.3	Membagi Tepi <i>Hydrofoil</i>	53
3.3.1.4	Membuat Farfield Boundary	53
3.3.2	Pembuatan Meshing Pada GAMBIT.....	56
3.3.2.1	Pembuatan Meshing Garis	57
3.3.2.2	Pembuatan Meshing Garis	58
3.3.3	Pemilihan <i>Solver</i>	60
3.3.4	Mengimpor Dan Memeriksa <i>Mesh</i>	60
3.3.5	Memilih Formulasi <i>Solver</i>	63
3.3.6	Menentukan Model Fisik Persamaan Dasar	64

3.3.7	Menentukan sifat Material	66
3.3.8	Menentukan Kondisi Batas	67
3.4	Proses Simulasi	69
3.4.1	Formulasi <i>Solver</i>	69
3.4.2	Pendefinisian Model	69
3.4.3	Parameter Kontrol Solusi	70
3.4.4	Inisialisasi Medan Aliran.....	72
3.4.5	Kriteria Konvergensi	72
3.4.6	Faktor Gaya Koefisien <i>Lift</i> Dan <i>Drag</i>	73
3.4.7	Setting Nilai Referensi.....	74
3.4.8	Solusi Parameter Hidrodinamik	74
BAB IV ANALISA DAN HASIL SIMULASI		76
4.1	Perbandingan Hasil Simulasi dengan Data Eksperimen.....	76
4.2	Evaluasi Hasil Simulasi CFD <i>Hydrofoil</i> NACA 0015	109
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		115
DAFTAR PUSTAKA		116
LAMPIRAN.....		118

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Koordinat Global Dan Label	54
Tabel 4.1 Koefisien Gaya Lit Hydrofoil NACA 0015	105
Tabel 4.2 Koefisien Gaya Drag Hydrofoil NACA 0015	107

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Tampilan gaya geser pada suatu daerah infinitif	6
Gambar 2.2	Respon terhadap gaya	7
Gambar 2.3	Klasifikasi aerodinamika aliran	8
Gambar 2.4	Berbagai daerah aliran lapisan batas diatas plat rata	9
Gambar 2.5	Viskositas fluida dilihat dari hubungan tegangan geser dan regangan geser	10
Gambar 2.6	Perilaku viskositas cairan	10
Gambar 2.7	Variasi kecepatan (satu dimensi) terhadap waktu	11
Gambar 2.8	Aliran internal pada pipa dan dua plat	12
Gambar 2.9	Aliran luar pada hydrofoil	12
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	Bendas tiga dimensi	20
Gambar 2.14	Benda <i>axisymmetric</i>	20
Gambar 2.15	Distribusi tekanan dan tegangan geser pada suatu <i>hydrofoil</i>	21
Gambar 2.16	Geometri elemen gaya pada <i>hydrofoil</i>	22
Gambar 2.17	Definisi luas planform dan luas frontal	24
Gambar 2.18	Tahanan permukaan pada plat datar	24
Gambar 2.19	Tahanan bentuk pada <i>bluff bodies</i>	25
Gambar 2.20	Lapisan batas viskos tipis dengan bilangan Reynolds tinggi	26
Gambar 2.21	Lapisan batas pada plat datar (ketebalan vertikal diperbesar)	27
Gambar 2.22	Variasi koefisien tahanan terhadap bilangan Reynold untuk benda dengan tingkat <i>streamlining</i>	28
Gambar 2.23	Efek <i>streamlining</i> pada pengurangan tahanan benda dua dimensi, C_D didasarkan pada luas frontal	29
Gambar 2.24	Konstruksi geometri <i>airfoil</i> NACA	30
Gambar 2.25	NACA 4 digit	31

Gambar 2.26	NACA 0015	31
Gambar 2.27	NACA 5 digit	32
Gambar 2.28	NACA 16 digit	33
Gambar 2.29	NACA 6 digit	34
Gambar 2.30	NACA 7 digit	34
Gambar 2.31	NACA 8 digit	35
Gambar 2.32	Struktur <i>hydrofoil</i>	35
Gambar 2.33	Efek maknus ssebagai prinsip dasar aerodinamika pada <i>hydrofoil</i>	37
Gambar 2.34	Sirkulasi udara pada <i>hydrofoil</i>	38
Gambar 2.35	Pengaruh momentum pada aliran fluida <i>hydrofoil</i>	39
Gambar 2.36	Pengaruh variasi tekanan pada <i>angle of attack hydrofoil</i>	40
Gambar 2.37	Vektor gaya pada <i>hydrofoil</i>	41
Gambar 2.38	Jenis turbin air (<i>non duct</i>) dan efisiensinya	41
Gambar 2.39	Skema kecepatan sudut dan gaya	42
Gambar 2.40	Fenomena <i>stall</i> pada turbin	43
Gambar 3.1	Diagram alir prosedur simulasi.....	46
Gambar 3.2	Daerah asal (domain) untuk <i>hydrofoil</i> dalam aliran dua dimensi	48
Gambar 3.3	Memulai GAMBIT	49
Gambar 3.3	<i>Grid quadrilateral</i> terstruktur pada domain	49
Gambar 3.4	Tampilan GUI pada GAMBIT	50
Gambar 3.5	Data <i>vertices</i> NACA 0015	51
Gambar 3.6	Kerangka NACA 0015 dengan titik	52
Gambar 3.7	Kerangka NACA 0015 dengan garis	52
Gambar 3.8	Input koordinat global dan local	54
Gambar 3.9	<i>Following vertice in coordinate</i>	55
Gambar 3.10	<i>Farfield boundary</i>	56
Gambar 3.11	<i>Meshing</i> bidang	58
Gambar 3.12	Grid quadrilateral terstruktur pada domain	59
Gambar 3.13	Pemeriksaan <i>meshing model</i>	61
Gambar 3.14	Pemeriksaan <i>grid</i>	62
Gambar 3.15	Tampilan <i>grid</i>	62

Gambar 3.16	Pemilihan <i>solver segregated</i>	63
Gambar 3.17	Metode Solusi Segregated	64
Gambar 3.18	Persamaan energi.....	65
Gambar 3.19	Model <i>viscous</i>	66
Gambar 3.20	Panel pendefinisian material	67
Gambar 3.21	Panel <i>velocity inlet</i>	68
Gambar 3.22	Panel <i>pressure outlet</i>	68
Gambar 3.23	Panel model <i>solver</i>	69
Gambar 3.24	Panel model <i>viscous</i>	70
Gambar 3.25	Panel <i>solution control</i>	71
Gambar 3.26	Panel <i>initialize</i>	72
Gambar 3.27	Panel <i>residual monitor</i>	73
Gambar 3.28	Panel <i>force monitor</i>	73
Gambar 3.29	Panel <i>reference value</i>	74
Gambar 3.30	Panel iterasi.....	74
Gambar 3.31	Iterasi telah mencapai konvergensi	75
Gambar 4. 1	Kontur kecepatan NACA 0015 pada $\alpha = 0^\circ$	77
Gambar 4. 2	Distribusi tekanan NACA 0015 pada $\alpha = 0^\circ$	78
Gambar 4. 3	Jejak aliran NACA 0015 pada $\alpha = 0^\circ$	79
Gambar 4. 4	Kontur kecepatan NACA 0015 pada $\alpha = 5^\circ$	80
Gambar 4. 5	Distribusi tekanan NACA 0015 pada $\alpha = 5^\circ$	81
Gambar 4. 6	Jejak aliran NACA 0015 pada $\alpha = 5^\circ$	82
Gambar 4. 7	Kontur kecepatan NACA 0015 pada $\alpha = 10^\circ$	83
Gambar 4. 8	Distribusi tekanan NACA 0015 pada $\alpha = 10^\circ$	84
Gambar 4. 9	Jejak aliran NACA 0015 pada $\alpha = 10^\circ$	85
Gambar 4. 10	Kontur kecepatan NACA 0015 pada $\alpha = 15^\circ$	86
Gambar 4. 11.	Distribusi tekanan NACA 0015 pada $\alpha = 15^\circ$	87
Gambar 4. 12	Jejak aliran NACA 0015 pada $\alpha = 15^\circ$	88
Gambar 4. 13	Kontur kecepatan NACA 0015 pada $\alpha = 45^\circ$	89
Gambar 4. 14	Distribusi tekanan NACA 0015 pada $\alpha = 45^\circ$	90
Gambar 4. 15	Jejak aliran NACA 0015 pada $\alpha = 45^\circ$	91

Gambar 4. 16	Kontur kecepatan NACA 0015 pada $\alpha = 90^\circ$	92
Gambar 4. 17	Distribusi tekanan NACA 0015 pada $\alpha = 90^\circ$	93
Gambar 4. 18	Jejak aliran NACA 0015 pada $\alpha = 90^\circ$	94
Gambar 4. 19	Kontur kecepatan NACA 0015 pada $\alpha = 180^\circ$	95
Gambar 4. 20	Distribusi tekanan NACA 0015 pada $\alpha = 180^\circ$	96
Gambar 4. 21.	Jejak aliran NACA 0015 pada $\alpha = 180^\circ$	97
Gambar 4. 22	Kontur kecepatan NACA 0015 pada $\alpha = 270^\circ$	98
Gambar 4. 23	Distribusi tekanan NACA 0015 pada $\alpha = 270^\circ$	99
Gambar 4. 24	Jejak aliran NACA 0015 pada $\alpha = 270^\circ$	100
Gambar 4. 25	Kontur kecepatan NACA 0015 pada $\alpha = 360^\circ$	101
Gambar 4. 26	Distribusi tekanan NACA 0015 pada $\alpha = 360^\circ$	102
Gambar 4. 27	Jejak aliran NACA 0015 pada $\alpha = 360^\circ$	103
Gambar 4.28	Grafik koefisien <i>lift</i>	104
Gambar 4.29	Grafik koefisien <i>drag</i>	106
Gambar 4.29	Grafik koefisien <i>drag</i>	106
Gambar 4.30	Grafik koefisien lift data eksperimen untuk 3 profil hydrofoil.....	109
Gambar 4.31	Grafik koefisien lift data simulasi untuk 3 profil hydrofoil	109
Gambar 4.32	Grafik koefisien drag data eksperimen untuk 3 profil hydrofoil	110
Gambar 4.33	Grafik koefisien drag data simulasi untuk 3 profil hydrofoil.....	110
Gambar 4.34	Evaluasi hasil simulasi CFD hydrofoil NACA 0015.....	111
Gambar 4.31	Distribusi tekanan dan pengaruh ketidakstabilan	113
Gambar 4.32	Perbedaan geometri pada <i>trailing edge</i>	113

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	<i>Enthalpy</i>	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}	Vektor satuan gaya arah normal	-
P	Tekanan	N/m^2
S	Luasan acuan	m^2
T	Temperatur	K
t	Target	-
\hat{t}	Vektor satuan gaya arah tangensial	-
u	Vektor kecepatan arah sumbu x	m/s

U_{∞}	Kecepatan arus bebas	m/s
V	Kecepatan aliran	m/s
v	Vektor kecepatan arah sumbu y	m/s
w	Vektor 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