



**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**PENGEMBANGAN METODE ANALITIK UNTUK PENENTUAN NILAI  
KOEFSIEN GAYA ANGKAT PADA AIRFOIL TAK SIMETRI  
MENGUNAKAN METODE REGRESI POLINOMIAL  
MULTIVARIABEL**

**TUGAS AKHIR**

**RINAL KHARIS  
L2E 006 076**

**FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN**

**SEMARANG  
JULI 2011**

## TUGAS AKHIR

- Diberikan Kepada : Nama : Rinal Kharis  
NIM : L2E 006 076
- Dosen Pembimbing : Dr.-Ing. Ir. Ismoyo Haryanto, MT
- Jangka Waktu : -
- Judul : Pengembangan Metode Analitik Untuk Penentuan Nilai Koefisien Gaya Angkat Pada Airfoil Tak Simetri Menggunakan Metode Regresi Polinomial Multivariabel
- Isi Tugas : 1. Membandingkan karakteristik airfoil tak simetri dengan *chamber* dan ketebalan yang berbeda pada bilangan Reynolds yang sama.  
2. Menyusun persamaan regresi untuk menentukan nilai  $C_L$  dengan variabel bebas sudut serang, bilangan Reynolds, *chamber per chord* dan ketebalan per *chord* airfoil.

Semarang, Juli 2011

Pembimbing



Dr.-Ing. Ir. Ismoyo Haryanto, MT

NIP. 196605212006041010

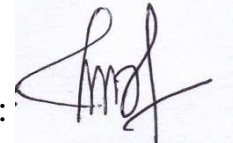
## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi/Tesis/Disertasi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

NAMA : Rinal Kharis

NIM : L2E 006 076

Tanda Tangan :



Tanggal : Juli 2011

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

NAMA : Rinal Kharis

NIM : L2E 006 076

Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Pengembangan Metode Analitik Untuk Penentuan Nilai Koefisien Gaya Angkat Pada Airfoil Tak Simetri Menggunakan Metode Regresi Polinomial Multivariabel

**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. Ir. Nazaruddin Sinaga, MS




Penguji : Dr. Ir. Toni Prahasto, MAsc



Semarang, Juli 2011

Ketua Jurusan Teknik Mesin,



**Dr. Ir. Dipl. Ing. 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 : Rinal Kharis  
NIM : L2E 006 076  
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 yang berjudul :

PENGEMBANGAN METODE ANALITIK UNTUK PENENTUAN NILAI  
KOEFSISIEN GAYA ANGKAT PADA AIRFOIL TAK SIMETRI MENGGUNAKAN  
METODE REGRESI POLINOMIAL MULTIVARIABEL

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 : Juli 2011

Yang menyatakan



( Rinal kharis )  
NIM. L2E 006 076

*Tugas Akhir ini kupersembahkan untuk:*

*Kedua orangtuaku tercinta, Imron, SPd*

*dan Tri Gumiyati, Spd, kakakku Rais Kusuma, serta  
Adikku Yuyun Annafia yang senantiasa memberikan  
dorongan dan do'a yang tidak pernah putus*

**Motto:**

***“Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya...”***

***(al-Baqarah 286)***

***“Berani Berbuat berani bertanggung jawab”***

***“Be yourself even you are no body”***

## ABSTRAK

Airfoil merupakan suatu bentuk profil geometri yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti pada sayap pesawat maupun sudu turbin. Banyak jenis airfoil yang telah dikembangkan. Salah satu lembaga yang mengembangkan airfoil adalah NACA. NACA mengembangkan airfoil dengan melakukan eksperimen menggunakan *wind tunnel*. Hasil dari eksperimen berupa data – data mengenai koefisien aerodinamik. Cara lain yang digunakan untuk mendapatkan data dari airfoil adalah menggunakan CFD yaitu simulasi menggunakan komputer. Kelemahan kedua cara ini baik secara eksperimen maupun CFD adalah lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan data – data airfoil. Untuk mengatasi masalah ini, pada tugas akhir ini akan dicari suatu metode analitik untuk menentukan koefisien gaya angkat dari airfoil menggunakan regresi polinomial multivariabel. Variabel bebas yang digunakan pada regresi adalah sudut serang, bilangan Reynolds, *chamber per chord* dan *thickness per chord*. Data – data yang dibutuhkan didapat dari simulasi CFD dan eksperimen. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa nilai koefisien gaya angkat yang didapat dari persamaan regresi mempunyai *error* sebesar 5.55%.

Kata kunci : Aerodinamika, airfoil, CFD, koefisien gaya angkat, sudut serang, bilangan Reynolds, *chamber*, ketebalan airfoil, regresi polinomial



## *ABSTRACT*

*Airfoil is a profile geometry that is widely used in various applications such as aircraft wings and turbine blades. Many types of airfoils have been developed. NACA is one of the institute that develop airfoil. NACA conduct experiments using wind tunnel to develop airfoil. Results from experiments in the form of aerodynamic coefficients data. Another method to obtain the airfoil data is CFD simulation using computer. The weakness both experimental and CFD is its time consume to get the aerodynamic of airfoil data. To overcome this problem, in this final project an analytical method will be developed for determining lift coefficient of airfoil by using multivariable polynomial regression. In this final project, the angle of attack, Reynolds number, chamber per chord and thickness per chord of the airfoil chosen as independent variables. The lift coefficient data obtained from CFD simulation and experiment data. The result show that the lift coefficient obtained from the regression equation has an error of 5.55%.*

*Keywords : Aerodynamics, airfoil, CFD, the lift coefficient, angle of attack, Reynolds number, chamber, thickness, polynomial regression*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat melewati masa studi dan menyelesaikan Tugas Sarjana yang merupakan tahap akhir dari proses untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin di Universitas Diponegoro.

Keberhasilan penulis dalam menyelesaikan Tugas Sarjana ini tidak lepas dari bantuan orang-orang yang dengan segenap hati memberikan bantuan, bimbingan dan dukungan baik moral maupun material. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ing. Ir. Ismoyo Haryanto, MT selaku dosen pembimbing Tugas Sarjana, yang telah memberikan bimbingan, pengarahan-pengarahan dan masukan kepada penulis hingga terselesainya Tugas Sarjana ini.
2. Dr. Ir. Dipl. Ing. Berkah Fajar TK selaku ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro beserta staf pengajar yang telah membagikan ilmu yang berguna baik dimasa sekarang maupun dimasa yang mendatang.
3. Bapak dan ibu di rumah, terima kasih atas pengorbanannya baik material maupun moril hingga saya bisa mencapai tingkat pendidikan sarjana.
4. Nugraha “Pepe” Primayudha Putra selaku partner Tugas Sarjana ini, serta seluruh rekan-rekan seperjuangan Teknik Mesin angkatan 2006 terimakasih atas bantuannya.

Penulis menyadari kekurangan yang ada pada laporan Tugas Sarjana ini mengingat keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang penulis miliki, sehingga saran dan kritik dari pembaca yang bersifat membangun selalu penulis harapkan.

Akhir kata semoga laporan Tugas Sarjana ini bermanfaat bagi penulis sendiri maupun bagi para pembaca.

Semarang, Juli 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.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvii
NOMENKLATUR.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Batasan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Metode Penelitian .....	3
1.5 Sistematika Penulisan .....	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Klasifikasi Aliran .....	6
2.1.1 Aliran <i>Inviscid Dan Viscous</i> .....	7
2.1.2 Aliran Laminar Dan Aliran Turbulen.....	8
2.1.3 Aliran Kompresibel Dan Inkompresibel .....	9
2.1.4 Aliran Internal Dan Eksternal.....	10
2.2 Persamaan Dasar Aliran Fluida.....	10
2.2.1 Persamaan Kekekalan Massa.....	11
2.2.2 Persamaan Kekekalan Momentum .....	13
2.2.3 Persamaan Energi.....	16
2.3 Aliran Pada Airfoil.....	16
2.3.1 Definisi Airfoil.....	16
2.3.2 Nomenklatur Airfoil .....	17
2.3.3 Gaya – Gaya Pada Airfoil.....	20
2.3.4 Karakteristik Airfoil .....	25
2.4 Computational Fluid Dynamics .....	28
2.4.1 Pemilihan Solver.....	30
2.4.2 Model Dan Persamaan Dasar.....	30
2.4.3 Kondisi Operasi .....	33
2.4.4 Sifat Material .....	33
2.4.5 Kondisi Batas .....	33
2.4.6 Parameter Kontrol Solusi.....	34
2.4.7 Inisialisasi Medan Aliran .....	34
2.4.8 Perhitungan (Iterasi).....	34
2.4.9 Post Processing .....	35
2.5 Analisis Regresi .....	35
2.5.1 Regresi Linear.....	35
2.5.1.1 Kuantifikasi Kesalahan Regresi Linear.....	37
2.5.2 Regresi Linear Berganda .....	38
2.5.3 Regresi Polinomial .....	41

BAB III METODE ANALISIS.....	45
3.1 Langkah Pengerjaan.....	45
3.2 Pemodelan Di Gambit.....	46
3.2.1 Pembuatan Model Geometri Dan Kondisi Batas.....	46
3.2.2 Penggenerasian <i>Mesh</i> .....	47
3.3 Simulasi Menggunakan Fluent .....	50
3.3.1 Mengimpor Dan Memeriksa <i>Mesh</i> .....	50
3.3.2 Pendefinisian <i>Properties</i> Pada Fluida .....	50
3.3.3 Penentuan Parameter Kendali Solusi.....	55
3.3.4 Proses Iterasi.....	58
3.3.5 Proses Konvergensi .....	59
3.4 Regresi Pada Matlab .....	60
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	 62
4.1 Hasil Simulasi Fluent.....	62
4.1.1 Validasi Terhadap Eksperimen.....	62
4.1.2 Hasil Simulasi Dengan Variasi Bilangan Reynolds .....	68
4.2 Hasil Analisa Regresi.....	68
4.3 Perbandingan Hasil Simulasi Fluent Dengan Regresi .....	75
 BAB V PENUTUP.....	 81
5.1 Kesimpulan .....	81
5.2 Saran.....	82
 DAFTAR PUSTAKA .....	 83

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perilaku solid dan fluid saat dikenai gaya geser diantara dua pelat.....	6
Gambar 2.2 Klasifikasi aliran fluida .....	7
Gambar 2.3 Berbagai daerah aliran lapisan batas di atas plat rata.....	8
Gambar 2.4 Variasi kecepatan (satu dimensi) terhadap waktu .....	9
Gambar 2.5 Aliran eksternal pada plat datar dan silinder.....	10
Gambar 2.6 Keseimbangan massa pada elemen fluida.....	12
Gambar 2.7 Komponen tegangan menurut arah sumbu-x .....	14
Gambar 2.8 Definisi Airfoil .....	16
Gambar 2.9 Nomenklatur airfoil.....	17
Gambar 2.10 (a) Distribusi tekanan pada suatu airfoil	
(b) Distribusi tegangan geser pada airfoil.....	21
Gambar 2.11 Resultan gaya aerodinamik pada airfoil.....	21
Gambar 2.12 Nomenklatur untuk integrasi tekanan dan tegangan geser pada airfoil	22
Gambar 2.13 Gaya aerodinamik pada sebuah elemen dari permukaan airfoil .....	23
Gambar 2.14 Skema variasi koefisien gaya angkat dengan sudut serang pada airfoil	26
Gambar 2.15 Data eksperimen untuk koefisien lift, drag dan momen.....	28
Gambar 2.16 Susunan menu pada Fluent.....	29
Gambar 2.17 Grafik regresi linear berganda dimana $y$ adalah fungsi linear dari $x_1$ dan $x_2$ .....	38
Gambar 2.18 (a) Data yang menggunakan regresi linear	
(b) Data yang menggunakan regresi polinomial .....	41
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	45
Gambar 3.2 Daerah asal airfoil untuk aliran dua dimensi.....	46
Gambar 3.3 Grid quadrilateral pada domain.....	49
Gambar 3.4 Panel model solver .....	50
Gambar 3.5 Panel persamaan energi .....	51
Gambar 3.6 Panel pemodelan viskositas.....	52
Gambar 3.7 Panel properties material .....	53
Gambar 3.8 Panel tekanan kondisi operasi .....	53

Gambar 3.9 Panel velocity inlet .....	54
Gambar 3.10 Panel pressure outlet.....	55
Gambar 3.11 Panel solution control.....	56
Gambar 3.12 Panel inialisasi .....	56
Gambar 3.13 Panel monitor residual.....	57
Gambar 3.14 Panel monitor lift.....	57
Gambar 3.15 Panel <i>reference value</i> .....	58
Gambar 3.16 Panel untuk iterasi .....	59
Gambar 3.17 Panel proses iterasi saat konvergen.....	59
Gambar 3.18 Panel display monitor proses iterasi.....	59
Gambar 4.1 Grafik koefisien gaya angkat ( <i>lift</i> ) terhadap sudut serang NACA 4412 ..	62
Gambar 4.2 Grafik koefisien gaya angkat ( <i>lift</i> ) terhadap sudut serang NACA 2424 ..	63
Gambar 4.3 Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = -6^\circ$ .....	63
Gambar 4.4 Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = -6^\circ$ .....	64
Gambar 4.5 Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 0^\circ$ .....	65
Gambar 4.6 Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 0^\circ$ .....	65
Gambar 4.7 Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 16^\circ$ .....	66
Gambar 4.8 Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 16^\circ$ .....	66
Gambar 4.9 Kontur distribusi tekanan pada sudut serang $\alpha = 20^\circ$ .....	67
Gambar 4.10 Kontur kecepatan pada sudut serang $\alpha = 20^\circ$ .....	67
Gambar 4.11 Vektor kecepatan pada sudut serang $\alpha = 20^\circ$ .....	68
Gambar 4.12 Grafik $C_L - \alpha$ hasil simulasi dengan variasi bilangan Reynolds NACA 4412.....	70
Gambar 4.13 Grafik $C_L - \alpha$ hasil simulasi dengan variasi bilangan Reynolds NACA 2424.....	71
Gambar 4.14 Command regresi pada Matlab .....	73
Gambar 4.15 Koefisien - koefisien regresi .....	74
Gambar 4.16 Grafik perbandingan hasil aproksimasi dengan hasil fluent pada Airfoil NACA 2424 Re $9 \times 10^6$ .....	75
Gambar 4.17 Grafik perbandingan hasil aproksimasi dengan hasil fluent pada Airfoil NACA 4412 Re $7 \times 10^6$ .....	76

Gambar 4.18 Grafik perbandingan hasil aproksimasi dengan hasil fluent pada Airfoil NACA 4421 Re $6 \times 10^6$ .....	76
Gambar 4.19 Grafik perbandingan hasil aproksimasi dengan hasil fluent pada Airfoil NACA 2415 Re $3 \times 10^6$ .....	77
Gambar 4.20 Grafik perbandingan hasil aproksimasi dengan hasil fluent pada Airfoil NACA 2418 Re $2,9 \times 10^6$ .....	77
Gambar 4.21 Grafik perbandingan hasil aproksimasi dengan hasil fluent pada Airfoil NACA 1410 Re $6 \times 10^6$ .....	78
Gambar 4.22 Hasil aproksimasi nilai $C_L$ untuk $v = 80$ m/s .....	79
Gambar 4.23 Hasil simulasi nilai $C_L$ untuk $v = 80$ m/s.....	79
Gambar 4.24 Grafik perbandingan <i>chamber</i> .....	80
Gambar 4.25 Grafik perbandingan <i>thickness</i> .....	80



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data Regresi Linear Berganda .....	40
Tabel 3.1 Koordinat geometri model airfoil pada Gambit.....	47
Tabel 3.2 Geometri <i>mesh</i> NACA 4412 .....	48
Tabel 4.1 Hasil simulasi variasi bilangan Reynolds NACA 4412.....	69
Tabel 4.2 Hasil simulasi variasi bilangan Reynolds NACA 2424.....	70

## NOMENKLATUR

$A$	Luasan acuan	$m^2$
$A$	Gaya Aksial	N
$a$	Koefisien regresi	-
$\alpha$	Sudut serang	rad
$C$	Panjang <i>chord</i>	m
$c$	Kecepatan suara	m/s
$c$	<i>chamber</i>	-
$C_D$	Koefisien <i>drag</i>	-
$C_L$	Koefisien <i>lift</i>	-
$C_M$	Koefisien <i>Momen</i>	-
$D$	Gaya hambat	N
$E$	Energi	Joule
$g$	Percepatan gravitasi	$m/s^2$
$i$	Arah komponen	-
$j$	Arah komponen	-
$k$	Arah komponen	-
$L$	<i>Lift</i>	N
$L$	Panjang karakteristik	m
$M$	Mach Number	-
$N$	Gaya Normal	N
$P$	Tekanan	$Kg/m^3$
$r$	Bilangan Reynolds	-
$S$	Luasan acuan	$m^2$
$t$	<i>thickness</i>	-
$U_\infty$	Kecepatan arus bebas	m/s

$u$	Vector kecepatan arah sumbu x	m/s
$V$	Kecepatan aliran	m/s
$v$	Vector kecepatan arah sumbu y	-
$w$	Vector kecepatan arah sumbu z	-
$x,y,z$	Sumbu koordinat kartesius	-
$\mu$	Viskositas fluida	kg/m.s
$\tau$	Tegangan viskos (tegangan geser fluida)	N/m <sup>2</sup>
$\rho$	Densitas fluida	kg/m <sup>3</sup>
$Re$	Bilangan reynold	-
$\alpha$	Sudut serang	°
$\theta$	Sudut antara tekanan dan garis normal	°