



**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**PERHITUNGAN KINERJA TURBIN ANGIN SUMBU  
VERTIKAL DAYA RENDAH**

**TUGAS AKHIR**

**BAHRUDDIN RACHMAT FAUZAN  
L2E005430**

**FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN**

**SEMARANG  
JULI 2011**

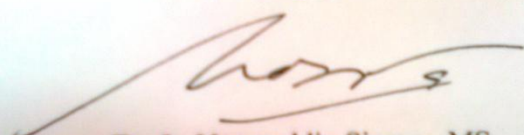
## TUGAS SARJANA

Diberikan kepada : Nama : Bahruddin Rachmat Fuazan  
NIM : L2E 005 449  
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Nazaruddin Sinaga , MS.  
Jangka Waktu : 1(satu) tahun 3 (tiga) bulan  
Judul : Perhitungan Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal Daya Rendah

Isi Tugas :

1. Mengetahui pengaruh antara sudut serang terhadap rasio *coefficient lift/coefficient drag* pada airfoil.
2. Mengetahui pengaruh antara sudut *pitch*, panjang sudu turbin dan bilangan Reynold terhadap torsi sudu turbin angin.

Semarang, Juli 2011  
Ketua Tim Penguji



Dr. Ir. Nazaruddin Sinaga , MS.  
NIP. 196112171987031001

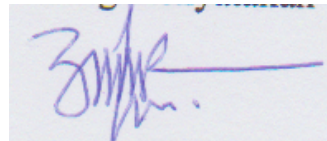
## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

NAMA : Bahhruddin R. Fauzan

NIM : L2E 005 430

Tanda Tangan :

A rectangular box containing a handwritten signature in blue ink. The signature is cursive and appears to read 'Bahhruddin R. Fauzan'.

Tanggal : 28 Juni 2011

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
NAMA : BAHRUDDIN RACHMAT FAUZAN  
NIM : L2E 005 430  
Jurusan/Program Studi : TEKNIK MESIN  
Judul Skripsi : PERHITUNGAN KINERJA TURBIN ANGIN  
SUMBU VERTIKAL TIGA SUDU DAYA  
RENDAH

**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. Ir. Nazaruddin Sinaga, MS  
Penguji : Rusnaldy Ph.D  
Penguji : Dr. MSK Tony Suryo U, ST, MT  
Penguji : Dr. Sri Nugroho



Semarang, Juli 2011  
Jurusan Teknik Mesin  
Ketua,  
  
Dr. Dipl. Ing. Ir. Berkah Fajar TK  
NIP. 1959072219870310003

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

---

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

Nama : Bahruddin Rachmat Fauzan  
NIM : L2E005430  
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi/Tesis/Disertasi

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

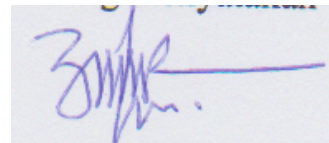
Perhitungan Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal Tiga Sudu daya Rendah

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 dan pembimbing saya selama tetap mencantumkan nama saya dan pembimbing saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang  
Pada Tanggal : 27 Juni 2011

Yang menyatakan



( Bahruddin Rachmat Fauzan )

## ABSTRAK

Energi listrik merupakan sebuah bagian yang tidak terpisahkan dalam kehidupan manusia. Hampir semua aspek dalam kehidupan manusia membutuhkan energi listrik. Sumber energi yang digunakan untuk membangkitkan listrik yang umum digunakan adalah sumber energi fosil yang merupakan sumber energi yang terbatas ketersediaannya dan tidak terbarukan. Peningkatan kebutuhan energi, membuat perlu dikembangkan teknologi pemanfaatan sumber energi terbarukan. Angin adalah salah satu sumber energi yang terbarukan dan ramah lingkungan.

Energi angin dapat dimanfaatkan dengan menggunakan turbin angin. Jenis turbin angin yang akan dipilih dalam tugas akhir ini adalah turbin angin sumbu vertikal tiga sudu daya rendah. Turbin angin memiliki diameter 120 cm dan tinggi 120 cm.

Simulasi aliran menggunakan program komputer dilakukan untuk memprediksi kondisi aliran pada penampang airfoil sudu dan memperkirakan sudut serang optimum untuk menghasilkan rasio *coefficient lift/ coefficient drag* terbesar. Perhitungan dengan menggunakan paket program komputer juga digunakan untuk memprediksi hal-hal yang mempengaruhi daya keluaran turbin angin seperti sudut *pitch* dan panjang sudu pada kondisi operasi tertentu. Simulasi aliran juga digunakan untuk memprediksi nilai torsi awal pada rotor pada kondisi operasi tertentu dan mengetahui pengaruh sudut *pitch* terhadap nilai torsi awal pada rotor. Dari hasil simulasi didapatkan bahwa dengan penambahan sudut *pitch* dapat dihasilkan torsi yang lebih besar yaitu 1.59 N-m, sedangkan pengaruh panjang berbanding lurus dengan torsi yang dihasilkan, torsi yang dihasilkan adalah 1 N-m. Sehingga nilai *cut in speed* dari turbin angin dapat diturunkan dari 2.1 m/s menjadi 1.7 m/s.

Keywords : turbin angin, *wind turbine aerodynamics, blade design, computational fluid dynamic*

## **ABSTRACT**

*Electrical energy is a part that couldn't be separated from human life. Almost the whole aspect in human life needs electrical energy, the general source to rise up electricity is fossile source energy which is limited and non renewable enhancement needed, limited fossile source also negative effect that produce makes the grown up technology of renewable energy. Wind is one of reneweble energy source and eco friendly.*

*Wind energy can be used with wind turbine. The chosen of wind turbine in this final examination is three vertical axis wind turbine low scale. It has 120 cm blade diameter and 120 cm length.*

*Flow simulation using computer sofware to predict flow condition at airfoil section blade and estimating the optimum angle of attack to produce larger coefficient lift or coefficient drag ratio. Calculation with computer sofware also use to predict power output influence like pitch angle and the length of blade in certain condition. Flow simulation also use to predict starting torque value in certain condition and understand the influence of pitch angle toward starting torque rotor value. The simulation show that pitch angle can produce torque 1.59 N-m, and the blade length can produce torque 1 N-m so that the cut in speed vertical axis wind turbine can reduce from 2.1 m/s to 1.7 m/s.*

**Keywords :** *Wind energy, wind turbine aerodynamics, blade design, computational fluid dynamic*

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua, ayah, kakak, dan adik, terima kasih atas cinta, doa dan kepercayaan yang diberikan kepada penulis.
2. Para Mantepo dan Timoho 236 dan, atas segala bantuannya selama ini..
3. Tim EECL Undip (Mas Martono, Dela, Kosim, Angga, Fauzan Saptadi, Aghi). Terimakasih atas segala bantuan dan kesabaran dalam membantu penulis untuk melakukan pangujian.
4. Mas ‘Broto’ Subroto, selaku teknisi laboratorium. Terimakasih atas segala bantuan perbaikan-perbaikan peralatan pengujian Tugas Akhir ini.
5. Bapak Ir. Tabah Priangkoso. Terimakasih atas bimbingan dan kesabaran menjawab pertanyaan-pertanyaan penulis.
6. “L”, Terimakasih atas pengertian, perhatian, dan kritikan dalam penulisan Tugas Akhir ini yang selalu memberi semangat penulis.
7. Teman-teman Teknik Mesin UNDIP Angkatan 2005 yang telah memberikan dukungan selama penulis menyusun laporan Tugas Akhir ini.



## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur senantiasa penulis panjatkan kepada Allah S.W.T, karena berkat rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan judul “Perhitungan Turbin Angin Sumbu Horizontal Tiga Sudu Daya Rendah”. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi pada program strata satu (S-1) di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang.

Keberhasilan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini 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. Dr. Ir. Nazaruddin Sinaga,MS, selaku dosen pembimbing yang telah begitu banyak memberikan bimbingan, pengarahan, pengetahuan dan motivasi tentang banyak hal kepada penulis, terutama dalam pengerjaan dan penyelesaian Tugas Sarjana ini.
2. Tim *EECL* Undip (Mas Ton, Ambon, aghi, della, kosim dan Saptadi) yang membantu dalam proses pengerjaan tugas akhir.
3. 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, Juni 2011

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	i
<b>HALAMAN TUGAS SARJANA</b>	ii
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS</b>	iii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI LAPORAN UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS</b>	v
<b>ABSTRACT</b>	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b>	viii
<b>KATA PENGANTAR</b>	ix
<b>DAFTAR ISI</b>	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	xv
<b>DAFTAR TABEL</b>	xviii
<b>NOMENKLATUR</b>	xix
<b>BAB I      PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang.	1
1.2. Tujuan	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Metodologi Penelitian	4
1.5. Sistematika Penulisan	4
<b>BAB II     DASAR TEORI</b>	
2.1. Energi Angin	6
2.1.1. Potensi Angin di Indonesia	6
2.1.2. Prinsip Konversi Energi Angin	7
2.1.3. <i>Tip speed ratio</i>	7
2.2. Klasifikasi Aliran	8
2.2.1. Aliran <i>Inviscid</i> dan <i>Viscous</i>	10

2.2.2. Aliran <i>Laminar</i> dan Aliran <i>Turbulent</i>	11
2.2.3. Aliran <i>Compressible</i> dan <i>Incompressible</i>	12
2.2.4. Aliran <i>Internal</i> dan <i>External</i>	13
2.3. Persamaan Dasar Aliran Fluida	14
2.3.1. Persamaan Kekekalan Massa	14
2.3.2. Persamaan Kekekalan Momentum	16
2.3.3. Persamaan Energi	18
2.4. Bilangan Reynolds	19
2.5. Gaya-Gaya pada Benda	20
2.5.1. Geometri Benda	20
2.5.2. Perhitungan <i>Drag</i> dan <i>Lift</i>	21
2.5.3. Jenis Tahanan	25
2.5.4. Lapisan Batas	27
2.5.5. Bilangan Tak Berdimensi yang Berpengaruh dalam Mekanika Fluida	31
2.6. Aspek Aerodinamika dalam Perancangan Sudu Turbin Angin	32
2.7. Turbin Angin	35
2.7.1. Berdasarkan Prinsip Aerodinamik	35
2.7.2 Berdasarkan Perputaran Sumbu Sudu	35
2.7.3 Daya Keluaran	37
2.8. <i>Computational Fluid Dynamics</i>	38
2.8.1. Proses Simulasi CFD	39
2.8.2. Model Turbulent	40
2.8.2.1. Permodelan k-epsilon	40
2.8.2.2 permodelan k-omega	42
2.8.3. Metode Komputasi Fluent	43
2.8.3.1. Skema Numerik	44
2.8.3.2. Diskretisasi	47
2.8.4. Mendefinisikan Kondisi Batas	52

<b>BAB III</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1.	Pengukuran Geometri Turbin Angin	54
3.2.	Simulasi Airfoil 2D Menggunakan Paket Program Fluent	54
3.2.1.	Model Benda	54
3.2.2.	Langkah Pengerjaan	55
3.2.3.	Simulasi Numerik Pada Fluent	58
3.3.	Simulasi Satu Sudu Turbin Angin Menggunakan Paket Program Fluent	63
3.3.1.	Model Benda	63
3.3.2.	Langkah Pengerjaan	65
3.3.3.	Simulasi Numerik Pada Fluent	67
3.4.	Simulasi 3 Sudu Turbin Angin Dengan Fluent	72
3.4.1.	Pemodelan Turbin Angin	72
3.4.2.	Langkah Pengerjaan	72
3.4.3.	Simulasi Numerik Pada Fluent	75
<b>BAB IV</b>	<b>DATA dan ANALISA</b>	
4.1.	Simulasi Airfoil 2D dengan Fluent	80
4.1.1.	Simulasi Grid	80
4.1.2.	Validasi	81
4.2.2.	Data Hasil Simulasi Airfoil 2D	82
4.2.3.	Analisa Hasil Simulasi Airfoil 2D	83
4.2.	Simulasi satu sudu turbin angin menggunakan Paket Program Fluent	84
4.2.1	Simulasi Pengaruh Penambahan Sudut <i>Pitch</i>	84
4.2.1.1	Simulasi Grid	84
4.2.1.2	Data Hasil Simulasi Satu Sudu Turbin	85
4.2.1.3.	Data Hasil Penambahan Sudut Pitch Terhadap Torsi	87
4.2.1.4.	Analisa Pada Bagian Sudu Turbin	87
4.3.	Simulasi Pengaruh Variasi Panjang Sudu Terhadap Torsi	97
4.3.1.	Analisa Pengaruh Panjang Sudu Turbin	98

4.4. Torsi Awal Pada Sudu Turbin	104
4.5. Analisa Grafik Torsi pada 3 Sudu Turbin	105
4.6 Simulasi Pengaruh Angka Reynold Terhadap Torsi Yang Dihasilkan pada Simulasi Turbin angin 3 sudu.	112
4.6.1 Simulasi Grid	112
4.6.2 Data Simulasi Variasi Angka Reynold.	113
4.6.3 Analisa Variasi Angka Reynold Pada Simulasi Tiga Sudu Turbin.	114
<b>BAB V</b>	
<b>PENUTUP</b>	
5.1. Kesimpulan	116
5.2. Saran	117
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Nilai $C_p$ dan tip speed ratio pada berbagai macam turbin angin	8
Gambar 2.2.	Respon terhadap gaya: (a) respon fluida terhadap gaya; (b) respon solid terhadap gaya	9
Gambar 2.3.	Klasifikasi aerodinamika aliran	10
Gambar 2.4.	Berbagai daerah aliran lapisan batas diatas plat rata	11
Gambar 2.5.	Variasi kecepatan (satu dimensi) terhadap waktu.	12
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.	16
Gambar 2.9.	Benda dua dimensi	20
Gambar 2.10.	Benda tiga dimensi	21
Gambar 2.11.	Distribusi tekanan dan tegangan geser pada suatu <i>airfoil</i>	22
Gambar 2.12.	Geometri elemen gaya pada <i>airfoil</i>	23
Gambar 2.13.	Definisi luas planform area	25
Gambar 2.14.	Tahanan permukaan pada plat datar.	26
Gambar 2.15.	Tahanan bentuk pada <i>bluff bodies</i> .	27
Gambar 2.16.	Lapisan batas viskos tipis pada suatu benda tipis dalam aliran dengan bilangan Reynolds tinggi	28
Gambar 2.17.	Lapisan batas pada suatu pelat datar (ketebalan vertikal diperbesar)	29
Gambar 2.18.	Variasi koefisien tahanan terhadap bilangan Reynolds untuk benda dengan berbagai tingkat streamlining.	30
Gambar 2.19.	Efek <i>streamlining</i> pada pengurangan tahanan benda dua dimensi, $C_D$ didasarkan pada luas frontal	31
Gambar 2.20.	Efisiensi aerodinamik pada plat datar	33
Gambar 2.21.	Efisiensi aerodinamik berbagai airfoil untuk bilangan Reynold $1,0 \times 10^5$	34
Gambar 2.22.	Efisiensi aerodinamik berbagai airfoil	

untuk bilangan Reynold $1,5 \times 10^5$	34
Gambar 2.23. <i>Vertical Axis Wind Turbine</i>	36
Gambar 2.24. <i>Horizontal Axis Wind Turbine</i>	37
Gambar 2.25. Diagram alir metode solusi <i>segregated</i>	46
Gambar 2.26. Diagram alir metode solusi <i>coupled</i>	46
Gambar 2.27. Kontrol volume digunakan sebagai ilustrasi diskretisasi persamaan <i>transport</i> skalar	48
Gambar 2.28. Variasi variable $\phi$ antara $x=0$ dan $x=L$	51
Gambar 3.1. Airfoil 4409	54
Gambar 3.2 Diagram Alir Simulasi 2D	56
Gambar 3.3 Daerah asal (domain) untuk airfoil dalam aliran dua dimensi.	57
Gambar 3.3 Panel <i>velocity_Inlet</i> .	59
Gambar 3.4 Panel <i>Outlet</i>	59
Gambar 3.5 Panel <i>wall condition</i> .	60
Gambar 3.7 Iterasi telah mencapai criteria konvergensi( $1e-5$ )	61
Gambar 3.8 Perhitungan nilai $C_l$ dan $C_d$	61
Gambar 3.9. Sudu turbin angin sumbu vertikal	64
Gambar 3.10 Diagram Alir Simulasi Sudu Turbin Angin Sumbu Vertikal	65
Gambar 3.11 Domain komputasi model turbin angin 3D.	66
Gambar 3.12 Kondisi Batas domain model turbin angin satu sudu turbin.	67
Gambar 3.13 Panel <i>velocity_Inlet</i> .	68
Gambar 3.14 Panel <i>pressure outlet</i> .	69
Gambar 3.15 Panel <i>wall condition</i>	69
Gambar 3.16. Perhitungan Torsi pada sudu Turbin	70
Gambar 3.17 Diagram Alir Simulasi Sudu Turbin Angin Sumbu Vertikal	72
Gambar 3.18. Domain komputasi model turbin angin 3D.	74
Gambar 3.19. Kondisi Batas domain model turbin angin satu	

sudu turbin.	75
Gambar 3.20. Panel <i>pressure outlet</i> .	77
Gambar 3.17. Panel <i>wall condition</i> .	77
Gambar 3.17. Perhitungan torsi pada tiga sudu turbin pada FLUENT.	78
Gambar 4.1. Grafik koefisien gaya angkat ( <i>lift</i> ) terhadap sudut serang.	80
Gambar 4.2. Grafik rasio coefficient lift/coefficient drag.	82
Gambar 4.3. <i>Velocity Magnitude</i> pada sudut serang $14^\circ$	83
Gambar 4.4. Grafik torsi terhadap posisi sudu turbin	85
Gambar 4.5. <i>Surface</i> sudu turbin yang dianalisa	87
Gambar 4.6. Vektor kecepatan pada <i>pitch</i> 0	87
Gambar 4.7. Vektor kecepatan pada <i>pitch</i> 30	88
Gambar 4.8. Vektor kecepatan pada <i>pitch</i> 31	88
Gambar 4.9. Vektor kecepatan pada <i>pitch</i> 33	89
Gambar 4.10 Vektor kecepatan pada <i>pitch</i> 0	89
Gambar 4.11 Vektor kecepatan pada <i>pitch</i> 30	90
Gambar 4.12 Vektor kecepatan pada <i>pitch</i> 31	90
Gambar 4.13 Vektor kecepatan pada <i>pitch</i> 33	91
Gambar 4.14 Kontur tekanan $0^\circ$	92
Gambar 4.15 Kontur tekanan pada penambahan sudut <i>pitch</i> $30^\circ$	93
Gambar 4.16 Kontur tekanan pada penambahan sudut <i>pitch</i> $31^\circ$	93
Gambar 4.17 Kontur tekanan pada penambahan sudut <i>pitch</i> $32^\circ$	94
Gambar 4.18 Kontur tekanan $0^\circ$	94
Gambar 4.19 Kontur tekanan pada penambahan sudut <i>pitch</i> $30^\circ$	95
Gambar 4.20 Kontur tekanan pada penambahan sudut <i>pitch</i> $31^\circ$	95
Gambar 4.21 Kontur tekanan pada penambahan sudut <i>pitch</i> $32^\circ$	96
Gambar 4.22 Vektor kecepatan Z =10 pada sudut $210^\circ$ panjang 120 cm	97
Gambar 4.23 Vektor Kecepatan Z =10 pada sudut $210^\circ$ Panjang 110 cm	98
Gambar 4.24 Vektor kecepatan Z =10 pada sudut $210^\circ$ panjang 90 cm	98



Gambar 4.25	Vektor kecepatan $Z = 10$ pada sudut $210^\circ$ panjang 80 cm	99
Gambar 4.26	Vektor kecepatan $Z = 10$ pada sudut $210^\circ$ Derajat panjang 70 cm	99
Gambar 4.27	Kontur tekanan $Z = 10$ pada sudut $210^\circ$ panjang 120 cm	100
Gambar 4.28	Kontur tekanan $Z = 10$ pada sudut $210^\circ$ panjang 110 cm	100
Gambar 4.29	Kontur tekanan $Z = 10$ pada sudut $210^\circ$ panjang 100 cm	101
Gambar 4.30	Kontur tekanan $Z = 10$ pada sudut $210^\circ$ panjang 90 cm	101
Gambar 4.31	Kontur tekanan $Z = 10$ pada sudut $210^\circ$ panjang 80 cm	102
Gambar 4.32	Kontur tekanan $Z = 10$ pada sudut $210^\circ$ panjang 70 cm	102
Gambar 4.33	Grafik Torsi 3 Sudu Turbin	105
Gambar 4.34	Grafik Torsi 3 sudu turbin penambahan sudut pitch $30^\circ$	106
Gambar 4.35	Grafik Torsi 3 sudu turbin penambahan sudut pitch $31^\circ$	107
Gambar 4.36	Grafik Torsi 3 sudu turbin penambahan sudut pitch $32^\circ$	109
Gambar 4.37	Grafik penambahan torsi 3 sudu turbin pada variasi penambahan sudut pitch	110
Gambar 4.38	Kontur tekanan pada bilangan Reynold 41700	113
Gambar 4.39	Kontur tekanan pada bilangan Reynold 52000	113
Gambar 4.40	Kontur tekanan pada bilangan Reynold 62000	114
Gambar 4.41	Kontur tekanan pada bilangan Reynold 72000	114

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Data Sudu turbin Angin	62
Tabel 4.1	Hasil Simulasi Grid pada Simulasi Airfoil 2D	79
Tabel 4.2.	<i>Cl/Cd</i> Simulasi Airfoil 2D	81
Table 4.3	Hasil Simulasi Grid Pada Simulasi Fluent	84
Table 4.4	Pengaruh Variasi Sudu Turbin Terhadap Torsi	85
Tabel 4.5	Data Simulasi Penambahan Sudut Pitch Terhadap Torsi	86
Tabel 4.6	Pressure Moment Pada Variasi Penambahan Sudut Pitch	92
Tabel 4.7	Hasil Simulasi Perbandingan Panjang Sudu Turbin	97
Table 4.8	Data Nilai Torsi Awal Hasil Simulasi	103
Tabel 4.9	Torsi pada 3 sudu turbin	104
Tabel 4.10	Torsi pada tiga sudu turbin penambahan sudut pitch 30°	105
Tabel 4.11	Torsi pada tiga sudu turbin penambahan sudut pitch 31°	107
Tabel 4.12	Torsi pada tiga sudu turbin penambahan sudut pitch 32°	108
Tabel 4.13	Data Simulasi Grid Dengan Fluent	111
Tabel 4.14	Data Hasil Simulasi angka reynold turbin angin	112

## NOMENKLATUR

$A$	Luasan acuan	$m^2$
$C$	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	$N$
$h$	Enthalpy	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	$N.m$
$\hat{n}$	Vector satuan gaya arah normal	-
$P$	Tekanan	$N/m^2$
$S$	Luasan acuan	$m^2$
$s$	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	$m/s$

$v$	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>
$\rho$	Densitas fluida	kg/m <sup>3</sup>
$S_h$	Disipasi viskos	-
$Re$	Bilangan reynold	-
$\alpha$	Sudut serang	0