



**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

***SIMULASI VARIABLE PITCH VERTICAL AXIS WIND TURBINE  
CAM-RACK-PINION MECHANISM***

**LAPORAN PROYEK AKHIR**

**ANDRY AFRIANSYAH BACHRI  
40040221650059**

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN  
REKAYASA PERANCANGAN MEKANIK  
SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**SEMARANG  
AGUSTUS 2025**



**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

***SIMULASI VARIABLE PITCH VERTICAL AXIS WIND TURBINE CAM-  
RACK-PINION MECHANISM***

**PROYEK AKHIR**

**Diajukan sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik**

**ANDRY AFRIANSYAH BACHRI  
40040221650059**

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN  
REKAYASA PERANCANGAN MEKANIK  
SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**SEMARANG  
AGUSTUS 2025**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Proyek Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang  
dirujuk telah saya nyatakan dengan benar

NAMA : ANDRY AFRIANSYAH BACHRI

NIM : 40040221650059

Tanda Tangan :



Tanggal : 20 Agustus 2025

# SURAT TUGAS



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,  
RISET DAN TEKNOLOGI  
**UNIVERSITAS DIPONEGORO**  
SEKOLAH VOKASI  
PROGRAM STUDI

Jalan Prof. Sudarto, S.H. Tembalang Semarang  
Kode Pos 50275  
Telp/Fax (024) 7471379  
Laman [www.vokasi.undip.ac.id](http://www.vokasi.undip.ac.id)  
e-mail [Vokasi@live.undip.ac.id](mailto:Vokasi@live.undip.ac.id)

## SURAT TUGAS PROYEK AKHIR

No. : 456/PA/RPM/IV/2025

Dengan ini diberikan Tugas Proyek Akhir untuk mahasiswa berikut:

Nama : Andry Afriansyah Bachri  
NIM : 40040221650059  
Judul Proyek Akhir : Simulasi dan Eksperimen *Variable Pitch Vertical Axis Wind Turbine Cam-Rack-Pinion Mechanism*  
Dosen Pembimbing : Didik Ariwibowo, S.T., M.T.  
NIP : 197007152003121001

### Isi Tugas:

1. Melakukan Simulasi Aliran Udara terhadap Geometri VP-VAWT
2. Melakukan pengujian alat menggunakan *wind tunnel*.
3. Menganalisis efisiensi kerja Prototype Turbin Angin Sumbu Vertikal Bilah Adaptif Skala Laboratorium dengan menggunakan data hasil pengujian alat.
4. Membuat prototype dan/atau paten sederhana dan/atau HKI hak cipta dan/atau jurnal publikasi.

Demikian agar diselesaikan selama-lamanya 6 bulan terhitung sejak diberikan tugas ini dan diwajibkan konsultasi sedikitnya 12 kali demi kelancaran penyelesaian tugas.

Semarang, 29 April 2025 Ketua  
Prodi Sarjana Terapan Rekayasa  
Perancangan Mekanik

Dr. Sri Utami Handayani, S.T., M.T.  
NIP 197609152003122001

### Tembusan:

1. Ketua Prodi
2. Bagian pengajaran
3. Mahasiswa ybs

## HALAMAN PENGESAHAN

Proyek Akhir ini diajukan oleh :

NAMA : Andry Afriansyah Bachri

NIM : 40040221650059

Program Studi : Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik

Judul Tugas Akhir : Simulasi *Variable Pitch Vertical Axis Wind Turbine Cam-Rack-Pinion Mechanism*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T.) pada Program Studi Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.

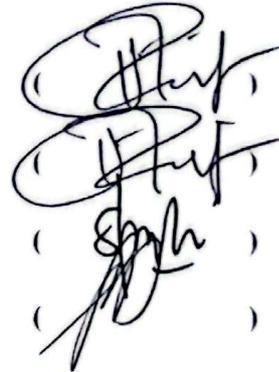
### TIM PENGUJI

Pembimbing : Didik Ariwibowo, S.T., M.T.

Penguji 1 : Didik Ariwibowo, S.T., M.T.

Penguji 2 : Dr. Sri Utami Handayani, S.T., M.T.

Penguji 3 : Dr. Seno Darmanto, S.T., M.T.



Semarang, 20 Agustus 2025

Ketua Program Studi Sarjana Terapan  
Rekayasa Perancangan Mekanik



Dr. Sri Utami Handayani, S.T., M.T.

NIP. 197609152003122001

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI PROYEK AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Andry Afriansyah Bachri  
NIM : 40040221650059  
Jurusan/Program Studi : Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik  
Departemen : Teknologi Industri  
Fakultas : Sekolah Vokasi  
Jenis Karya : Proyek Akhir

demi pengembangan ilmu pengetahuan menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**“Simulasi *Variable Pitch Vertical Axis Wind Turbine Cam-Rack-Pinion Mechanism*”**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Dibuat di : Semarang

Pada Tanggal : 20 Agustus 2025

Yang menyatakan



Andry Afriansyah Bachri

## **MOTTO**

"Surut untuk berunding, pantang untuk takluk."

-Pangeran Diponegoro

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Proyek Akhir dengan judul Simulasi *Variable Pitch Vertical Axis Wind Turbine Cam-Rack-Pinion Mechanism*.

Penyusunan laporan proyek akhir ini tentunya tidak terlepas dari bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini penulis menyampaikan rasa hormat dan ucapan terimakasih sebesar-besarnya kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Budiyono, M.si selaku Dekan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang,
2. Dr. Sri Utami Handayani, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang,
3. Didik Ariwibowo, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing selama penyusunan Tugas Akhir,
4. Dr. Sri Utami Handayani, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Tugas Akhir,
5. Dr. Seno Darmanto, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Tugas Akhir,
6. Seluruh dosen dan teknisi yang telah memberikan ilmu selama masa perkuliahan dan juga angkatan 2021 RPM “Generator”,
7. Kedua orang tua serta keluarga yang telah senantiasa memberikan doa dan semangat serta dukungan,

8. Teman tim Proyek Akhir Yoga Alfarizi,

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dan keterbatasan ilmu dalam penyusunan laporan ini, maka segala bentuk kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan.

Penulis berharap, semoga semua pihak yang telah memberikan bantuan, diberi balasan kebajikan. Amin. Semoga laporan ini bisa bermanfaat bagi penulis sendiri khususnya dan para pembaca secara umum, baik dari kalangan akademis maupun yang lain.

Semarang, 20 Agustus 2025



Andry Afriansyah Bachri

## ABSTRAK

### SIMULASI *VARIABLE PITCH VERTICAL AXIS WIND* *TURBINE CAM-RACK-PINION MECHANISM*

Peningkatan efisiensi turbin angin sumbu vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine*, VAWT) menjadi fokus utama dalam riset energi terbarukan. Salah satu pendekatan untuk meningkatkannya adalah melalui penerapan sistem *variable pitch*, yang memungkinkan sudut bilah turbin berubah secara dinamis untuk mengikuti arah angin. Riset ini bertujuan untuk merancang, mensimulasikan, dan menguji mekanisme *variable pitch* yang berbasis *cam-rack-pinion* pada VAWT. Metode penelitian yang digunakan meliputi pemodelan mekanisme dalam perangkat lunak CAD dan simulasi dinamika fluida komputasional (CFD). Tujuan dari metode ini adalah untuk membuat prototipe dan memperoleh data prediktif dari hasil simulasi. Analisis difokuskan pada pola kecepatan aliran udara dan tekanan yang terjadi pada turbin. Hasil simulasi prediktif pada Geometri VP VAWT  $\phi$  Azimuth  $20^\circ$  menunjukkan kecepatan aliran maksimum mencapai 11.06 m/s. Fenomena ini teramati secara dominan pada Kuadran I, di mana bilah turbin bergerak maju melawan arah angin (*advancing blade*). Kecepatan relatif yang tinggi antara bilah dan angin pada kuadran ini terbukti menyebabkan akselerasi aliran udara secara signifikan di sekitar ujung bilah. Selain itu, simulasi juga menunjukkan bahwa perubahan sudut bilah yang signifikan dapat memicu kecenderungan pembentukan aliran *vortex* pada turbin. Riset lanjutan diperlukan untuk menyempurnakan desain cam agar gerakan bilah lebih halus. Karena sulitnya simulasi 3D, simulasi 2D direkomendasikan untuk memodelkan pergerakan turbin secara efektif. Selain itu, metode simulasi yang digunakan saat ini perlu divalidasi pada turbin yang lebih sederhana sebelum diterapkan lebih lanjut.

**Kata kunci:** vawt; *variable pitch*; *cam-rack-pinion*; simulasi cfd; aliran vortex.

## ABSTRACT

### *SIMULATION OF VARIABLE PITCH VERTICAL AXIS WIND TURBINE CAM-RACK-PINION MECHANISM*

Improving the efficiency of vertical axis wind turbines (VAWTs) is a key focus in renewable energy research. One approach to improving efficiency is through the application of a variable pitch system, which allows the angle of the turbine blades to change dynamically to follow the direction of the wind. This research aims to design, simulate, and test a cam-rack-pinion-based variable pitch mechanism on a VAWT. The research methods used include modelling the mechanism in CAD software and computational fluid dynamics (CFD) simulation. The purpose of this method is to create a prototype and obtain predictive data from the simulation results. The analysis focuses on the airflow velocity and pressure patterns occurring in the turbine. Predictive simulation results for the VP VAWT geometry at  $\phi$  Azimuth  $20^\circ$  show that the maximum airflow velocity reaches 11.06 m/s. This phenomenon is predominantly observed in Quadrant I, where the turbine blades move forward against the wind direction (advancing blade). The high relative speed between the blades and the wind in this quadrant was found to cause significant acceleration of the airflow around the blade tips. Additionally, the simulation also shows that significant changes in blade angle can trigger a tendency for vortex flow formation in the turbine. Further research is needed to refine the cam design to achieve smoother blade movement. Due to the complexity of 3D simulation, 2D simulation It is recommended to model turbine movement effectively. In addition, the simulation method currently used needs to be validated on simpler turbines before being applied further.

**Keywords:** vawt; variable pitch; cam-rack-pinion; cfd simulation; vortex flow.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....</b>	<b>i</b>
<b>SURAT TUGAS .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI PROYEK AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....</b>	<b>iv</b>
<b>MOTTO .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Tujuan.....	5
1.5 Luaran.....	6
1.6 Sistematika Penulisan Laporan .....	6
1.6.1 Pendahuluan .....	6
1.6.2 Tinjauan Pustaka .....	6
1.6.3 Metodologi .....	7
1.6.4 Hasil dan Pembahasan.....	7
1.6.5 Kesimpulan dan Saran.....	7
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>8</b>
2.1 Pengertian dan Prinsip Kerja Turbin Angin .....	8
2.2 Klasifikasi Turbin Angin.....	9
2.2.1 <i>Horiontal Axis Wind Turbine</i> (HAWT) .....	10
2.2.2 <i>Vertical Axis Wind Turbine</i> (VAWT) .....	11

2.2.3	Perbandingan memakai mekanisme <i>Variable Pitch</i> dan <i>Fix Ptich</i> .	12
2.2.4	Kuadran Analisis.....	12
2.3	Parameter Kinerja dan Desain Fundamental Turbin Angin .....	13
2.3.1	Parameter Aerodinamika.....	13
2.3.2	Parameter Geometri .....	18
2.4	Konsep dan Mekanisme <i>Variable Pitch</i> pada VAWT .....	19
2.4.1	Definisi dan prinsip kerja <i>variable pitch</i> .....	19
2.4.2	Jenis-jenis mekanisme <i>variable pitch</i> .....	20
2.5	Karakteristik Fluida.....	21
2.5.1	Massa Jenis .....	21
2.5.2	Kondisi <i>No Slip</i> .....	21
2.6	Aliran Fluida .....	22
2.6.1	Aliran Laminar dan Turbulen.....	22
2.6.2	Aliran <i>Steady</i> dan <i>Unsteady</i> .....	22
2.6.3	Aliran <i>Compressible</i> dan <i>Incompressible</i> .....	22
2.6.4	Aliran <i>Viscous</i> dan <i>Inviscid</i> .....	23
2.6.5	Aliran <i>Vortex</i> .....	23
2.7	Computational Fluid Dynamic (CFD).....	24
2.7.1	Kualitas Mesh .....	27
<b>BAB III METODOLOGI .....</b>		<b>28</b>
3.1	Studi Literatur .....	29
3.2	Persiapan Hardware & Software .....	29
3.3	Pembuatan Geometri .....	29
3.4	Simulasi Numerik.....	31
3.5	Analisis Data .....	31
3.6	Penarikan Kesimpulan.....	32
3.7	Deskripsi Masalah .....	32
3.8	Tahapan Simulasi .....	33
3.9	Tahap Pre-Processing.....	34
3.9.1	Pengumpulan Data Operasional.....	34
3.9.2	Domain.....	35
3.9.3	Pemberian BOI ( <i>Body Of Influence</i> ).....	36
3.9.4	Name Selection .....	37

3.9.5	Pembentukan Mesh .....	44
3.10	Tahap Solver .....	46
3.10.1	<i>General Setting</i> .....	46
3.10.2	<i>Viscous Models</i> .....	47
3.10.3	<i>Materials</i> .....	48
3.10.4	<i>Cell Zone Conditions</i> .....	49
3.10.5	<i>Boundary Conditions</i> .....	51
3.10.6	Initialization .....	57
3.10.7	Run Calculation.....	58
3.11	Tahap Post Processing.....	59
3.12	Orientasi Perubahan Bilah.....	60
3.13	Data Input Eksperimen untuk Simulasi.....	61
3.14	Kalkulasi Bilangan Reynold.....	61
3.15	Analisis asil, Pembahasan dan Kesimpulan .....	63
3.16	Penyusunan Laporan .....	63
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>64</b>
4.1	Perancangan Kondisi Simulasi pada VP VAWT disetiap kondisi 0° hingga 180° sudut Azimuth.....	64
4.1.1	Pendefinisian Kecepatan Angin dan Kemampuan Putar Turbin.....	64
4.1.2	Pendefinisian Name Selection.....	64
4.1.3	Pendefinisian Area Rotating dan Area Static.....	65
4.1.4	Pendefinisian Letak Kuadran .....	65
4.2	Meshing.....	66
4.2.1	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth 0° .....	66
4.2.2	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth 20° .....	68
4.2.3	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth 40° .....	70
4.2.4	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth 60° .....	72
4.2.5	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth 80° .....	74
4.2.6	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth 100° .....	76
4.2.7	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth 120° .....	78
4.2.8	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth 140° .....	80
4.2.9	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth 160° .....	82
4.2.10	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth 180° .....	84
4.3	Aliran Vortex.....	86

4.3.1	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth $0^\circ$ .....	86
4.3.2	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth $20^\circ$ .....	87
4.3.3	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth $40^\circ$ .....	88
4.3.4	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth $60^\circ$ .....	89
4.3.5	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth $80^\circ$ .....	91
4.3.6	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth $100^\circ$ .....	92
4.3.7	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth $120^\circ$ .....	93
4.3.8	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth $140^\circ$ .....	94
4.3.9	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth $160^\circ$ .....	95
4.3.10	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth $180^\circ$ .....	96
4.4	Profil Kontur Kecepatan Angin .....	98
4.4.1	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth $0^\circ$ .....	98
4.4.2	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth $20^\circ$ .....	99
4.4.3	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth $40^\circ$ .....	101
4.4.4	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth $60^\circ$ .....	102
4.4.5	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth $80^\circ$ .....	104
4.4.6	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth $100^\circ$ .....	105
4.4.7	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth $120^\circ$ .....	107
4.4.8	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth $140^\circ$ .....	108
4.4.9	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth $160^\circ$ .....	110
4.4.10	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth $180^\circ$ .....	111
4.5	Profil Kontur Tekanan .....	113
4.5.1	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth $0^\circ$ .....	113
4.5.2	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth $20^\circ$ .....	114
4.5.3	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth $40^\circ$ .....	115
4.5.4	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth $60^\circ$ .....	116
4.5.5	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth $80^\circ$ .....	117
4.5.6	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth $100^\circ$ .....	118
4.5.7	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth $120^\circ$ .....	119
4.5.8	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth $140^\circ$ .....	120
4.5.9	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth $160^\circ$ .....	121
4.5.10	Geometri VP VAWT $\phi$ Azimuth $180^\circ$ .....	122
4.6	Nilai Kecepatan dan Tekanan Angin disetiap $20^\circ$ kondisi $0^\circ$ hingga $180^\circ$ $\phi$ Azimuth .....	123

4.7 Kontur Kecepatan Tertinggi.....	124
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>126</b>
5.1 Kesimpulan.....	126
5.2 Saran.....	127
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>130</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Nama dan jumlah komponen turbin.....	30
Tabel 3. 2 Pengumpulan data operasional .....	34
Tabel 4.1 Tabel nilai kecepatan dan tekanan angin disetiap 20° kondisi 0° hingga 180° $\phi$ azimuth.....	124

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Prinsip kerja <i>horizontal axis wind turbine</i> dan <i>vertical axis wind turbine</i> .....	9
Gambar 2. 2 Jenis turbin angin sumbu horizontal berdasarkan arah angin datang	10
Gambar 2. 3 VAWT ( <i>Darrieus/Lift</i> ) dan VAWT ( <i>Savonius/Drag</i> ) .....	11
Gambar 2. 4 Kuadran analisis VP-VAWT.....	13
Gambar 2. 5 Konversi energi pada turbin angin .....	14
Gambar 2. 6 Gambar <i>airfoil</i> .....	15
Gambar 2. 7 Kerja aerodinamis pada <i>airfoil</i> .....	16
Gambar 2. 8 Kerja gaya pada <i>airfoil</i> .....	18
Gambar 2. 9 Visualisasi aliran (a) Laminar (b) Transisi (c) Turbulen.....	22
Gambar 2. 10 Aliran (a) <i>inviscid</i> dan (b) <i>viscous</i> .....	23
Gambar 2. 11 Kualitas mesh berdasarkan skewness dan orthogonal quality .....	27
Gambar 3. 1 Diagram alir riset.....	28
Gambar 3. 2 Desain VP-VAWT <i>Cam-Rack-Pinion Mechanism</i> .....	30
Gambar 3. 3 <i>Rotating Domain</i> .....	35
Gambar 3. 4 <i>Static Domain</i> .....	36
Gambar 3. 5 BOI ( <i>Body Of Influence</i> ) <i>Domain</i> .....	37
Gambar 3. 6 <i>Groups of name selection</i> .....	38
Gambar 3. 7 <i>Name selection wing-wall</i> .....	38
Gambar 3. 8 <i>Name selection TE (trailing edge)-wall</i> .....	39
Gambar 3. 9 <i>Name Selection poros-wall</i> .....	39

Gambar 3. 10 <i>Name Selection batang-wall</i> .....	40
Gambar 3. 11 <i>Name Selection sidewing-wall</i> .....	40
Gambar 3. 12 <i>Name Selection Inlet</i> .....	41
Gambar 3. 13 <i>Name Selection Outlet</i> .....	41
Gambar 3. 14 <i>Name Selection right-symmetry</i> .....	42
Gambar 3. 15 <i>Name Selection top-symmetry</i> .....	42
Gambar 3. 16 <i>Name Selection left-symmetry</i> .....	43
Gambar 3. 17 <i>Name Selection bottom-symmetry</i> .....	43
Gambar 3. 18 Hasil meshing <i>static domain</i> .....	45
Gambar 3. 19 Hasil meshing <i>rotating domain</i> .....	45
Gambar 3. 20 Hasil meshing <i>wing-wall, TE-wall, dan sidewing-wall</i> .....	46
Gambar 3. 21 <i>Setup general setting</i> .....	47
Gambar 3. 22 <i>Setup viscous models</i> .....	48
Gambar 3. 23 <i>Materials air</i> .....	49
Gambar 3. 24 <i>Cell zone conditions rotating domain</i> .....	50
Gambar 3. 25 <i>Cell zone conditions static domain</i> .....	51
Gambar 3. 26 <i>Boundary conditions</i> .....	52
Gambar 3. 27 <i>Boundary conditions wing wall</i> .....	54
Gambar 3. 28 <i>Boundary conditions batang wall</i> .....	54
Gambar 3. 29 <i>Boundary conditions inlet</i> .....	55
Gambar 3. 30 <i>Boundary conditions poros wall</i> .....	55
Gambar 3. 31 <i>Boundary Conditions Sidewing Wall</i> .....	56
Gambar 3. 32 <i>Boundary conditions TE wall</i> .....	56

Gambar 3. 33 <i>Boundary conditions outlet</i> .....	57
Gambar 3. 34 <i>Initialization</i> .....	58
Gambar 3. 35 <i>Run calculation</i> .....	59
Gambar 3. 36 Sudut pitch sebuah bilah ketika berputar 360 derajat pada : (a) VP-VAWT dan (b) FP-VAWT.....	60
Gambar 4. 1 Pendefinisian letak kuadran .....	66
Gambar 4. 2 Hasil orthogonal quality mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $0^\circ$ .....	67
Gambar 4. 3 Histogram orthogonal quality mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $0^\circ$ .....	67
Gambar 4. 4 Hasil skewness mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $0^\circ$ .....	68
Gambar 4. 5 Histogram skewness mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $0^\circ$ .....	68
Gambar 4. 6 Hasil orthogonal quality mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $20^\circ$ .....	69
Gambar 4. 7 Histogram orthogonal quality mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $20^\circ$ .....	69
Gambar 4. 8 Hasil skewness mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $20^\circ$ .....	70
Gambar 4. 9 Histogram skewness mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $20^\circ$ .....	70
Gambar 4. 10 Hasil orthogonal quality mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $40^\circ$ .....	71
Gambar 4. 11 Histogram orthogonal quality mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $40^\circ$ ....	71
Gambar 4. 12 Hasil skewness mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $40^\circ$ .....	72
Gambar 4. 13 Histogram skewness mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $40^\circ$ .....	72
Gambar 4. 14 Hasil orthogonal quality mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $60^\circ$ .....	73
Gambar 4. 15 Histogram orthogonal quality mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $60^\circ$ ....	73
Gambar 4. 16 Hasil skewness mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $60^\circ$ .....	74
Gambar 4. 17 Histogram skewness mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $60^\circ$ .....	74
Gambar 4. 18 Hasil orthogonal quality mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $80^\circ$ .....	75

Gambar 4. 19 Histogram orthogonal quality mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $80^\circ$ ....	75
Gambar 4. 20 Hasil skewness mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $80^\circ$ .....	76
Gambar 4. 21 Histogram skewness mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $80^\circ$ .....	76
Gambar 4. 22 Hasil orthogonal quality mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $100^\circ$ .....	77
Gambar 4. 23 Histogram orthogonal quality mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $100^\circ$ ..	77
Gambar 4. 24 Hasil skewness mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $100^\circ$ .....	78
Gambar 4. 25 Histogram skewness mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $100^\circ$ .....	78
Gambar 4. 26 Hasil orthogonal quality mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $120^\circ$ .....	79
Gambar 4. 27 Histogram orthogonal quality mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $120^\circ$ ..	79
Gambar 4. 28 Hasil skewness mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $120^\circ$ .....	80
Gambar 4. 29 Histogram skewness mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $120^\circ$ .....	80
Gambar 4. 30 Hasil orthogonal quality mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $140^\circ$ .....	81
Gambar 4. 31 Histogram orthogonal quality mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $140^\circ$ ..	81
Gambar 4. 32 Hasil skewness mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $140^\circ$ .....	82
Gambar 4. 33 Histogram skewness mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $140^\circ$ .....	82
Gambar 4. 34 Hasil orthogonal quality mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $160^\circ$ .....	83
Gambar 4. 35 Histogram orthogonal quality mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $160^\circ$ ..	83
Gambar 4. 36 Hasil skewness mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $160^\circ$ .....	84
Gambar 4. 37 Histogram skewness mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $160^\circ$ .....	84
Gambar 4. 38 Hasil orthogonal quality mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $180^\circ$ .....	85
Gambar 4. 39 Histogram orthogonal quality mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $180^\circ$ ..	85
Gambar 4. 40 Hasil skewness mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $180^\circ$ .....	86
Gambar 4. 41 Histogram skewness mesh VP VAWT $\phi$ azimuth $180^\circ$ .....	86

Gambar 4. 42 Aliran vortex VP VAWT $\phi$ azimuth $0^\circ$ .....	87
Gambar 4. 43 Aliran vortex VP VAWT $\phi$ azimuth $20^\circ$ .....	88
Gambar 4. 44 Aliran vortex VP VAWT $\phi$ azimuth $40^\circ$ .....	89
Gambar 4. 45 Aliran vortex VP VAWT $\phi$ azimuth $60^\circ$ .....	90
Gambar 4. 46 Aliran vortex VP VAWT $\phi$ azimuth $80^\circ$ .....	92
Gambar 4. 47 Aliran vortex VP VAWT $\phi$ azimuth $100^\circ$ .....	93
Gambar 4. 48 Aliran vortex VP VAWT $\phi$ azimuth $120^\circ$ .....	94
Gambar 4. 49 Aliran vortex VP VAWT $\phi$ azimuth $140^\circ$ .....	95
Gambar 4. 50 Aliran vortex VP VAWT $\phi$ azimuth $160^\circ$ .....	96
Gambar 4. 51 Aliran vortex VP VAWT $\phi$ azimuth $180^\circ$ .....	97
Gambar 4. 52 Profil kontur kecepatan udara VP VAWT $\phi$ azimuth $0^\circ$ .....	99
Gambar 4. 53 Profil kontur kecepatan udara VP VAWT $\phi$ azimuth $20^\circ$ .....	100
Gambar 4. 54 Profil kontur kecepatan udara VP VAWT $\phi$ azimuth $40^\circ$ .....	102
Gambar 4. 55 Profil kontur kecepatan udara VP VAWT $\phi$ azimuth $60^\circ$ .....	103
Gambar 4. 56 Profil kontur kecepatan udara VP VAWT $\phi$ azimuth $80^\circ$ .....	105
Gambar 4. 57 Profil kontur kecepatan udara VP VAWT $\phi$ azimuth $100^\circ$ .....	106
Gambar 4. 58 Profil kontur kecepatan udara VP VAWT $\phi$ azimuth $120^\circ$ .....	108
Gambar 4. 59 Profil kontur kecepatan udara VP VAWT $\phi$ azimuth $140^\circ$ .....	109
Gambar 4. 60 Profil kontur kecepatan udara VP VAWT $\phi$ azimuth $160^\circ$ .....	111
Gambar 4. 61 Profil kontur kecepatan udara VP VAWT $\phi$ azimuth $180^\circ$ .....	112
Gambar 4. 62 Profil kontur tekanan VP VAWT $\phi$ azimuth $0^\circ$ .....	113
Gambar 4. 63 Profil kontur tekanan VP VAWT $\phi$ azimuth $20^\circ$ .....	114
Gambar 4. 64 Profil kontur tekanan VP VAWT $\phi$ azimuth $40^\circ$ .....	115

Gambar 4. 65 Profil kontur tekanan VP VAWT $\phi$ azimuth $60^\circ$ .....	116
Gambar 4. 66 Profil kontur tekanan VP VAWT $\phi$ azimuth $80^\circ$ .....	117
Gambar 4. 67 Profil kontur tekanan VP VAWT $\phi$ azimuth $100^\circ$ .....	118
Gambar 4. 68 Profil kontur tekanan VP VAWT $\phi$ azimuth $120^\circ$ .....	119
Gambar 4. 69 Profil kontur tekanan VP VAWT $\phi$ azimuth $140^\circ$ .....	120
Gambar 4. 70 Profil kontur tekanan VP VAWT $\phi$ azimuth $160^\circ$ .....	121
Gambar 4. 71 Profil kontur tekanan VP VAWT $\phi$ azimuth $180^\circ$ .....	122

## DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL

Simbol	Keterangan	Pertama kali muncul Halaman
$\lambda$	<i>Tip speed ratio</i>	13
$\omega$	Kecepatan Rotasi	13
$R$	Jari-jari Turbin	13
$V$	Kecepatan Angin	13
$M$	Momentum	13
$C_p$	Koefisien Daya	13
$\rho$	Kerapatan Udara	13
$A$	Luas bilah	13
$\sigma$	Soliditas	14
$N$	Jumlah bilah	14
$c$	Panjang Chord bilah	14
$D$	Diameter Turbin	14
$CL$	Koefisien <i>Lift</i>	16
$FL$	Gaya <i>Lift</i>	16
$CD$	Koefisien <i>Drag</i>	17
$FD$	Gaya <i>Drag</i>	17
$CM$	Koefisien <i>Moment</i>	17
$AR$	Aspect Ratio	18
$H$	Tinggi bilah	18
$\rho$	Massa Jenis	21
$m$	Massa	21
$V$	Volume	21