

**PERANCANGAN TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL 1000
WATT DI PELABUHAN KARIMUNJAWA KABUPATEN JEPARA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik



Oleh :

ROYAN ROMADHON

NIM. I0411037

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA**

2017



KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS SEBELAS MARET - FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN

Jl Ir Sutami No. 36A Kentingan Surakarta Telp. 0271 632163 web: mesin.ft.uns.ac.id

**SURAT TUGAS PEMBIMBING DAN PENGUJI TUGAS AKHIR
PROGRAM SARJANA TEKNIK MESIN UNS**

Program Studi :S1 Teknik Mesin

Nomor : 0695/TA/S1/04/2016

Nama : **ROYAN ROMADHON**
NIM : **I0411037**
Bidang : **Konversi Energi**
Pembimbing 1 : **D. DANARDONO, ST, MT, PhD/196905141999031001**
Pembimbing 2 : **DR. ENG. SYAMSUL HADI, S.T.,
M.T./197106151998021002**

Penguji : **1. AGUNG TRI WIJAYANTA, M.Eng., Ph.D./
197108311997021001**
2. Dr. BUDI KRISTIAWAN, ST., MT./ 197104251999031001
3. Indri Yaningsih, S.T.,M.T/ 198607042012122004

Mata Kuliah Pendukung

- 1.AERO DAN HIDRO DINAMIKA(MS06033-10)**
- 2.POMPA DAN KOMPRESOR(MS06103-10)**
- 3.PERAWATAN PREDIKTIF(MS03043-10)**

Judul Tugas Akhir

**"PERANCANGAN TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL
1000 WATT DI PELABUHAN KARIMUNJAWA KABUPATEN
JEPARA"**



Surakarta, **2016-04-04 11:21:19**
Kepala Program Studi S1 Teknik Mesin,

DR. ENG. SYAMSUL HADI, ST, MT
NIP. 197106151998021002

Tembusan :

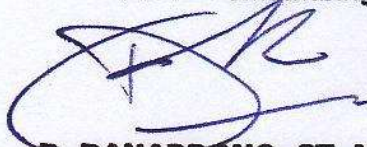
1. Mahasiswa ybs.
2. Dosen Pembimbing TA ybs.
3. Koordinator TA.
4. Arsip.

**PERANCANGAN TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL 1000 WATT DI
PELABUHAN KARIMUNJAWA KABUPATEN JEPARA**

Disusun Oleh

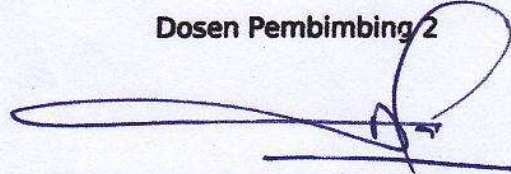
ROYAN ROMADHON
NIM : 10411037

Dosen Pembimbing 1



D. DANARDONO, ST, MT, PhD
NIP. 196905141999031001

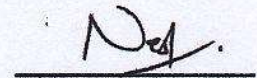
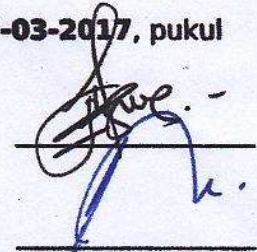
Dosen Pembimbing 2




DR. ENG. SYAMSUL HADI, S.T., M.T.
NIP. 197106151998021002

Telah dipertahankan di depan Tim Dosen Penguji pada tanggal **07-03-2017**, pukul **10:00:00**, bertempat di **M.102, Gd.1 FT-UNS.**

1. **AGUNG TRI WIJAYANTA, M.Eng., Ph.D.**
197108311997021001
2. **Dr. BUDI KRISTIAWAN, ST., MT.**
197104251999031001
3. **Indri Yaningsih, S.T.,M.T**
198607042012122004

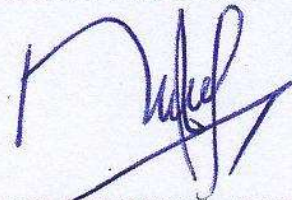


Kepala Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret
Surakarta



DR. ENG. SYAMSUL HADI, ST,MT
NIP. 197106151998021002

Koordinator Tugas Akhir



DR. NURUL MUHAYAT, ST,MT
NIP. 197003231998021001

PERANCANGAN TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL 1000 WATT DI PELABUHAN KARIMUNJAWA KABUPATEN JEPARA

Royan Romadhon

Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret

Surakarta Indonesia

E-mail: royanromadhon@gmail.com

Abstract

The main purpose of this paper is to design wind turbine in Karimunjawa Island which has low electrical access. The horizontal wind axis turbine was selected for the design. The data of wind speed and wind direction were obtained from BMKG Station of Meteorology and Maritime Class II Semarang. The data was recorded by anemometer at the 10 meter high during 2014. The wind speed data was analyzed by using graphical method of Weibull distribution. The result showed that the area has mean wind speed, V_m , of 6,88 m/s, the wind direction of 60° up to 90° . The shape parameter k is 3,2253, the scale parameter c is 6,42 m/s, the wind energy density E_D is 0,18247 kW/m², the available energy per year E_I is 1559,07 kW/m²/year, the wind speed with maximum frequency V_{Fmax} is 6,13 m/s, and the wind speed with maximum energy V_{Emax} is 7,99 m/s. The wind turbine components was designed based maximum wind speed 15,51 m/s. The option airfoils were airfoil NACA 4415, NACA 4412, NACA 4418 and NACA 23012. The airfoil were analysed using JavaFoil software and Blade Element Momentum (BEM) analysis. The airfoil NACA 4412 was selected for the blade design with C_p 45,55 % at tip speed ratio 8. The result of this design is wind turbine horizontal axis with 2,8 m rotor diameter and 15 m hub height.

Key words: *design, turbine, wind, horizontal axis, Karimunjawa, 1000 watt.*

PERANCANGAN TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL 1000 WATT DI PELABUHAN KARIMUNJAWA KABUPATEN JEPARA

Royan Romadhon

Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret

Surakarta Indonesia

E-mail: royanromadhon@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang turbin angin di Pulau Karimunjawa yang memiliki akses kelistrikan yang kurang. Desain turbin menggunakan turbin angin sumbu horisontal. Data kecepatan dan arah angin diperoleh dari Stasiun BMKG Meteorologi Maritim Klas II Semarang. Data dihasilkan dari anemometer yang dipasang dengan ketinggian 10 m selama tahun 2014. Data kecepatan angin dianalisa menggunakan distribusi Weibull dengan metode grafik. Hasil pengolahan data kecepatan angin mendapatkan kecepatan rata-rata $V_m = 6,88$ m/s dengan arah angin 60° - 90° , parameter $k = 3,2253$ dan parameter kecepatan angin $c = 6,42$ m/s. Hasil analisa potensi energi angin didapat kerapatan energi angin $E_D = 0,18247$ kW/m², ketersediaan energi per tahun $E_I = 1559,07$ kW/m²/tahun, kecepatan angin frekuensi maksimum $V_{Fmax} = 6,13$ m/s, dan Kecepatan energi maksimum $V_{Emax} = 7,99$ m/s. Komponen turbin angin didesain menggunakan kecepatan angin maksimum $V_{max} = 15,51$ m/s. Airfoil yang dipilih yaitu airfoil NACA 4415, NACA 4412, NACA 4418 dan NACA 23012. Airfoil dianalisa menggunakan software *JavaFoil* dan analisa Blade Element Momentum (BEM). Airfoil NACA 4412 dipilih sebagai airfoil rancangan turbin angin yang menghasilkan nilai C_p maksimum tertinggi 45,55 % pada tip speed ratio 7. Hasil perancangan menghasilkan turbin angin dengan diameter rotor 2,8 m dan tinggi 15 m dari hub terhadap permukaan tanah.

Kata kunci: perancangan, turbin, angin, sumbu horizontal, karimun jawa, 1000 watt.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta hidayah kepada penulis sehingga mampu melaksanakan dan menyelesaikan skripsi dengan judul “Perancangan Turbin Angin Sumbu Horizontal 1000 Watt di Area Pelabuhan Karimunjawa” dengan baik.

Skripsi ini disusun guna memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Dalam mengerjakan skripsi ini tidaklah mungkin dapat terselesaikan tanpa bantuan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan banyak terima kasih kepada semua pihak atas segala bantuan dan perhatian selama penulis menyelesaikan skripsi ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak D. Danardono, ST., MT., Ph.D. selaku Dosen pembimbing I yang senantiasa memberikan nasehat, arahan dan bimbingan dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Eng. Syamsul Hadi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang turut serta memberikan motivasi, arahan dan bimbingan dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Ibu Indri Yaningsih, ST., MT., dan Bapak Agung Tri Wijayanta, S.T., M.Eng., Ph.D. dan Bapak Budi Kristiawan, S.T., M.T. selaku dosen penguji tugas akhir saya yang telah memberi saran yang membangun.
4. Bapak Dr. Nurul Muhayat, S.T., M.T. selaku koordinator Tugas Akhir.
5. Seluruh staf dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret yang telah turut serta mendidik penulis hingga menyelesaikan studi S1.
6. Seluruh staf karyawan administrasi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret yang telah memberikan kemudahan dalam hal administrasi.
7. Ayah, Ibu dan kakakku atas do'a restu, nasihat, motivasi, dukungan material dan spiritual dalam menyelesaikan skripsi.
8. Onny Hendro Adhiaksono yang telah membantu kuliah saya dan Yunisa Zahrah yang selalu memberikan motivasi kepada saya.

9. Rekan-rekan seperjuangan di Mecheng 11, kakak tingkat dan adik tingkat di Jurusan Teknik Mesin UNS, *M-solidarity forever!!*
10. Segenap Keluarga Mahasiswa Teknik Mesin yang telah memberikan pembelajaran berharga yang akan selalu saya ingat.
11. Dan semua pihak yang telah mendukung kelancaran skripsi penulis yang tidak bias penulis sebutkan satu-persatu.

Pada akhirnya penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari sempurna karena keterbatasan kemampuan dan pengetahuan penulis. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak supaya menjadi masukan yang sangat berguna bagi penulis untuk memperbaiki dan menyempurnakan penulisan lain yang akan datang. Akhir kata, penulis berharap semoga laporan skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua dan bagi penulis pada khususnya.

Surakarta, 10 Maret 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR NOTASI	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
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 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penyusunan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Energi Angin	5
2.2 Daya Angin	5
2.3 Ekstrapolasi Kecepatan Angin Beda Ketinggian	7
2.4 Distribusi Weibull.....	9
2.5 Kecepatan Angin Rata-Rata (V_m)	10
2.6 V_{Emax} dan V_{Fmax}	11
2.7 Parameter k dan c	11
2.8 Horisontal axis wind turbines (HAWTs)	13
2.9 Gaya dan momen	14
2.10 Prinsip Aerodinamika	15
2.11 Jumlah blade turbin angin	21

2.12	Pemilihan Airfoil.....	25
2.13	JavaFoil	29
2.14	Menentukan panjang chord dan Blade twist	30
2.15	Blade Element Momentum Theory (BEMT)	31
2.16	Desain Baut	38
2.17	Desain Poros	39
2.18	Pasak	41
2.19	Flange Hub Rotor Turbin Angin	42
2.20	Bantalan Atau Bearing	43
2.21	Sistem Pemindah Tenaga Turbin	46
BAB III METODOLOGI PERANCANGAN		48
3.1	Tempat Penelitian	48
3.2	Tempat Penelitian	48
3.3	Alat dan Bahan.....	48
3.4	Prosedur Perancangan	48
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN		50
4.1	Potensi Kecepatan Angin	50
4.1.1	Lokasi Pengambilan Data	50
4.1.2	Perhitungan Kecepatan Angin	51
4.1.3	Perhitungan Fungsi Probabilitas dan Kumulatif Distribusi Weibull .	52
4.1.4	Penentuan Arah dan Kecepatan Angin di Lokasi	55
4.1.5	Perhitungan Potensi Energi Angin	57
4.2	Perancangan Turbin Angin	58
4.2.1	Menentukan jumlah sudu	58
4.2.2	Menentukan tip speed ratio	59
4.2.3	Perhitungan Dimensi Rotor.....	60
4.2.4	Analisa Airfoil.....	60
4.2.5	Karakteristik Sudu Turbin Angin.....	61
4.2.6	Analisis BEM	63
4.2.6.1	Analisis BEM NACA 4412.....	63
4.2.7	Perhitungan gaya aksial dan power pada blade turbin angin	66

4.2.8 Perhitungan arah angin dengan variasi arah vertikal	68
4.2.9 Desain Komponen Turbin Angin	73
4.2.9.1 Gaya yang Bekerja pada Turbin Angin.....	73
4.2.9.2 Diameter poros	74
4.2.9.3 Flange Hub rotor turbin angin.....	77
4.2.9.4 Perhitungan Disc Hub turbin angin.....	80
4.2.9.5 Ukuran Baut (Hub dengan blade)	82
4.2.9.6 Ukuran pasak.....	85
4.2.9.7 Perhitungan Bantalan	87
4.2.9.8 Pemilihan Generator	89
4.2.9.9 Perancangan Sistem Pemindah Tenaga Turbin.....	92
4.2.9.10 Ekor	97
4.2.9.11 Tower	98
4.2.10 Gambar 3D Desain Turbin Angin Sumbu Horisontal.....	102
4.2.11 Simulasi hasil desain untuk mengetahui pola aliran angin	102
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	105
5.1. Kesimpulan.....	105
5.2. Saran	105
DAFTAR PUSTAKA	106
LAMPIRAN	109
1. Tabel data kecepatan angin	110
2. Tabel material baut.....	122
3. Tabel material alumunium	123
4. Tabel material cast iron.....	124
5. Spesifikasi Generator	124
6. Airfoil lift and drag data extrapolation (JavaFoil)	125

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Peta Kecepatan Angin Sesuai dengan Ocean Renewable Energy Source ...	2
Gambar 2. 1 Aliran angin melalui silinder dengan luas A (Manwell et al., 2002).....	6
Gambar 2. 2 Turbin Searah dan Melawan Arah Angin.....	13
Gambar 2. 3 Gaya dan Momen Yang Bekerja Pada Sudu.....	14
Gambar 2. 4 Efek dari Reynolds number pada maksimum rasio lift/drag untuk nilai airfoil yang besar.	16
Gambar 2. 5 Efek baik (kenaikan) dan merugikan (penurunan) gradien tekanan pada lapis batas	16
Gambar 2. 6 Sparasi aliran batas dan stall.....	17
Gambar 2. 7 Sudut stall	17
Gambar 2. 8 Efek dari Reynolds number pada lapis batas yang laminar pada gradien tekanan.....	18
Gambar 2. 9 Transformasi gaya lift dan drag ke dalam torsi dan gaya thrust.....	19
Gambar 2. 10 Sudut serang dan chord line dari airfoil.....	20
Gambar 2. 11 Koefisien daya yang dihasilkan berbanding dengan jumlah sudu, tanpa gaya drag.....	21
Gambar 2. 12 Pengaruh jumlah sudu dengan koefisien daya rotor dan tip speed ratio yang optimum.....	22
Gambar 2. 13 Pengaruh desain turbin dengan koefisien rotor	23
Gambar 2. 14 Grafik jumlah blade dan tip speed ratio.....	24
Gambar 2. 15 Gaya dan momen pada sisi airfoil, sudut serang dan chord. Arah dari gaya dan momen yang ditunjukkan pada dengan tanda panah	26
Gambar 2. 16 Parameter dari airfoil	26
Gambar 2. 17 Geometri sudu untuk analisis dari turbin angin sumbu horisontal	30
Gambar 2. 18 Sudut kecepatan angin	33
Gambar 2. 19 Skema bagian sudu ; c, panjang airfoil chord ; dr, panjang radial dari bagian; r, jari-jari	33
Gambar 2. 20 Skema bagian sudu ; c, panjang airfoil chord ; dr, panjang radial dari bagian; r, jari-jari	34
Gambar 2. 21 Diagram alir kerugian tip (Wilson et al, 1976).....	35
Gambar 2. 23 Diagram Alir Perhitungan Analisis BEM.....	37
Gambar 2. 24 Bagian-bagian baut	38
Gambar 2. 25 Gaya yang Bekerja pada Poros	39
Gambar 2. 26 Tegangan geser yang diakibatkan oleh torsi pada poros	39
Gambar 2. 27 Tegangan bending yang pada batang lurus.....	40
Gambar 2. 28 Unprotected type flange coupling.....	43
Gambar 2. 29 Radial Ball Bearing.....	44

Gambar 2. 30 Flexible coupling (bhandari, 2010).....	47
Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi Perancangan.....	49
Gambar 4. 1 Anemometer cup yang berada di Stasiun Meteorologi Stasiun Meteorologi Maritim Klas II Semarang	50
Gambar 4. 2 Grafik Estimasi k dan c	53
Gambar 4. 3 Grafik Fungsi Probability Density Tahun 2014	54
Gambar 4. 4 Grafik Fungsi Distribusi Kumulatif.....	55
Gambar 4. 5 Grafik Frekuensi Arah Angin	56
Gambar 4. 6 Grafik Frekuensi Arah Angin Komulatif.....	56
Gambar 4. 8 Pengaruh desain turbin dengan koefisien daya rotor (Hau,2006).....	59
Gambar 4. 9 Kurva Lift to Drag (L/D) – Sudut Serang (α) Airfoil yang akan digunakan menggunakan perangkat lunak JavaFoil.....	61
Gambar 4. 10 Grafik perbandingan Cp airfoil.....	68
Gambar 4. 11 Grafik koefisien lift dan drag pada NACA 4412.....	69
Gambar 4. 12 Penampang poros.....	74
Gambar 4. 13 Penampang Flange Hub.....	77
Gambar 4. 14 Flange Hub Rotor	78
Gambar 4. 15 Penampang Disc Hub	81
Gambar 4. 16 Penampang pasak.....	85
Gambar 4. 17 Penampang bantalan	87
Gambar 4. 18 Generator	89
Gambar 4. 19 Grafik Power Generator.....	90
Gambar 4. 20 Grafik Voltase Generator.....	90
Gambar 4. 21 Penampang Flexible Coupling.....	92
Gambar 4. 22 Gaya Tahan pada Karet Bushes.....	95
Gambar 4. 23 Momen Bantalan Potongan X-X	96
Gambar 4. 24 Diagram Benda Bebas Tower	98
Gambar 4. 25 Desain 3D turbin angin tampak depan.....	102
Gambar 4. 27 Desain 3D turbin angin tampak bawah.....	102
Gambar 4. 27 Simulasi aliran angin terhadap profil sudu NACA 4412.....	103
Gambar 4. 28 Simulasi aliran angin terhadap rotor pandangan depan.....	103
Gambar 4. 28 Simulasi aliran angin terhadap rotor pandangan atas	104
Gambar 4. 29 Simulasi aliran angin terhadap rotor.....	104

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia.....	1
Tabel 2. 1 Nilai Koefisien Kekasaran dan Layer Thickness berdasarkan Lokasi yang Berbeda (ASHRAE handbook, 1997)	8
Tabel 2. 2 .Design dimensions of screw threads, bolts and nuts according to IS : 4218 (Part III) 1976	38
Tabel 2. 3 Rekomendasi nilai Km dan Kt	40
Tabel 2. 4 Tabel proporsi poros dan pasak	41
Tabel 2. 5 Nilai faktor keamanan untuk bantalan beban kejut	45
Tabel 2. 6 Pemilihan faktor koreksi pada bantalan	45
Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Kecepatan Angin pada Bulan Januari.....	51
Tabel 4. 2 Distribusi Frekuensi Kecepatan Angin Tahun 2014	52
Tabel 4. 3 Analisa potensi Energi selama dua tahun.....	57
Tabel 4. 4 Perbandingan kelebihan dan kekurangan jumlah sudu pada turbin	59
Tabel 4. 5 Nilai L/D Maksimum dari Data Karakteristik Airfoil NACA.....	61
Tabel 4. 6 Geometri Blade NACA 23012	63
Tabel 4. 7 Hasil analisa berdasarkan tip speed ratio.....	67
Tabel 4. 8 Hasil analisa efisiensi turbin angin.....	73
Tabel 4. 9 Properties material poros Cast Iron ASTM 897-90 grade 2	75
Tabel 4. 10 Penggunaan Alumunium Alloys.....	81
Tabel 4. 11 Properties Aluminium Alloy 2024-T6.....	81
Tabel 4. 12 Properties Baut Stainless Steel	82
Tabel 4. 13 Properties Baut Stainless Steel	82
Tabel 4. 14 Properties Material Cast Iron ASTM 897-90 Grade 1	86
Tabel 4. 15 Spesifikasi Generator	90
Tabel 4. 16 Power Keluaran Generator	91
Tabel 4. 17 Luas Sapuan Ekor.....	98
Tabel 4. 18 Properties Aluminium Alloy 2024-T6.....	98

DAFTAR NOTASI

A	= Swept area rotor (m^2)	Me	= Momen akibat bending (Nm)
a	= Faktor gangguan aksial	N	= Putaran rotor (rpm)
a'	= Faktor gangguan tangensial	P	= Daya (Watt)
B	= Jumlah <i>blade</i>	P_d	= Daya desain turbin
c	= Panjang chord (m)	r	= Jari-jari rotor (m)
C	= Basic dynamic load rating (N)	r_c	= <i>Centre of mass blade</i>
C_0	= <i>Basic static load rating</i> (N)	R	= Koefisien determinasi
C_D	= Koefisien <i>drag</i>	ρ	= Massa jenis udara (kg/m^3)
C_L	= Koefisien <i>lift</i>	T	= Torsi (Nm)
C_{PD}	= Koefisien daya desain	t_f	= Tebal <i>hub flange</i> (m)
c	= Parameter skala Weibull (m/s)	Te	= Momen akibat torsi (Nm)
D	= Diameter luar hub (m)	U	= Kecepatan udara (seragam)
d	= Diameter sudu (m)	v	= Kecepatan angin (m/s)
d_b	= Diameter baut	V_m	= Kecepatan angin rata-rata (m/s)
dp	= Diameter poros (m)	$V_{E_{max}}$	= Kecepatan rerata tahunan (m/s)
E_D	= Densitas energi angin (kW/m^2)	$V_{F_{max}}$	= Kecepatan angin yang sering muncul (m/s)
E_I	= Intensitas energi ($kW/m^2/bulan$)	w	= kecepatan angin relatif
F_a	= Gaya aksial	W	= Beban ekuivalen dinamik (N)
F_c	= Gaya sentrifugal	W_a	= Gaya aksial (N)
F_t	= Gaya tangensial	W_r	= Gaya radial (N)
F_D	= Gaya <i>drag</i> (N)	X	= Faktor radial
F_L	= Gaya <i>lift</i> (N)	Y	= Faktor aksial
F	= Frekuensi	Z	= Tebal lapis batas (m)
H	= Tinggi rotor (m)	A	= eksponen kekasaran
K_m	= Faktor beban akibat bending	σ	= Tegangan tarik ijin (Mpa)
K_t	= Faktor beban akibat torsi	λ	= <i>Tip speed ratio</i>
k	= Parameter bentuk Weibull	τ	= Tegangan geser ijin (MPa)
L	= Umur kerja bantalan (rev)	ω	= Kecepatan sudut (rad/s)
L_H	= Waktu kerja bantalan (jam)	ρ	= Massa Jenis
m_b	= Massa <i>blade</i>	φ	= Sudut kecepatan angin relatif

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel data kecepatan angin.....	111
Lampiran 2. Tabel material baut.....	123
Lampiran 3. Tabel material alumunium.....	124
Lampiran 4. Tabel material cast iron	125
Lampiran 5. Spesifikasi Generator.....	125
Lampiran 6. Data <i>lift</i> dan <i>drag</i> pada airfoil.....	125
Lampiran 6. Gambar teknik.....	126