

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iii
NASKAH SOAL TUGAS AKHIR	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR NOTASI.....	xiv
INTISARI	xvii

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan Perancangan dan Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Perancangan dan Penelitian.....	5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penentuan Karakteristik Rancangan Awal Rotor Turbin Angin	6
2.2. Penentuan Jumlah, Profil, dan Bentuk Sudu	7
2.3. Perbandingan Karakteristik Sudu Profil Pelat Lengkung dengan Profil Airfoil.....	11
2.4. Efek Jumlah Sudu terhadap Performa Turbin Angin	13
2.5. Metode Perancangan Bentuk Sudu.....	15

BAB III DASAR TEORI

3.1. Pengertian Turbin Angin	20
3.2. Penggolongan Turbin Angin	20
3.2.1. Penggolongan Berdasarkan Prinsip Penggerak	20
3.2.2. Penggolongan Berdasarkan Arah Sumbu	22
3.3. Sejarah Pemanfaatan Energi Angin	24
3.4. Potensi Energi Angin	27
3.5. Pengertian dan Struktur Airfoil	28
3.6. Gaya-gaya Aerodinamika pada Airfoil	30
3.7. <i>Tip Speed Ratio</i>	32
3.8. Teori Momentum Satu Dimensi	33
3.9. Pengaruh Pusaran Udara (<i>Wake Rotation</i>) pada Teori Momentum	36
3.10. Teori Elemen Sudu (<i>Blade Element Theory</i>)	39
3.11. Teori Momentum Elemen Sudu (<i>Blade Element Momentum</i>)	41
3.12. Pengaruh Kerapatan Sudu pada Rotor dengan Putaran <i>Wake</i>	42
3.13. Pengaruh dari Jumlah Sudu Terbatas (<i>Finite Number of Blades</i>)	42
3.14. Pengertian Sistem Transmisi	44
3.15. Sistem Transmisi Roda Gigi	44
3.16. Struktur dan Ukuran Geometris Roda Gigi Lurus	46
3.17. Perbandingan Putaran Roda Gigi	48
3.18. Kapasitas Beban Roda Gigi	49
3.18.1. Perhitungan Lenturan	49
3.18.2. Perhitungan Beban Permukaan	51

BAB IV ANALISIS AERODINAMIKA DAN PERANCANGAN SUDU

4.1. Metode untuk Memprediksi Performa Sudu	54
4.2. Penentuan Kondisi Operasional	55

4.3. Penentuan Profil Sudu Berdasarkan Sifat-sifat Aerodinamika Profil	57
4.4. Pembagian Sudu menjadi Beberapa Elemen dan Penentuan Titik Acuan bagi Persamaan Distribusi <i>Chord</i>	59
4.5. Diagram Alur Perhitungan untuk Menghitung Performa Sudu Teoritis	60
4.6. Analisis Pengaruh Bentuk Sudu terhadap Koefisien Daya Rotor Teoritis	61
4.7. Analisis Pengaruh Profil Sudu terhadap Koefisien Daya Rotor Teoritis	63
4.8. Analisis Gaya dan Momen yang Bekerja pada Sudu	66
4.8.1. Analisis Tegangan akibat Momen <i>Flapwise Bending</i> dan <i>Chordwise Bending</i>	67
4.8.2. Analisis Tegangan akibat Gaya Sentrifugal	69
4.9. Analisis Kekuatan Material Batang Sudu	69

BAB V PERANCANGAN SISTEM TRANSMISI UNTUK PENGGERAKAN GENERATOR

5.1. Asumsi Awal pada Perancangan Transmisi	72
5.2. Penentuan Sistem Transmisi Turbin Angin	72
5.3. Analisis Pemilihan Rantai	73
5.4. Analisis Kekuatan Bahan Poros Rotor	74
5.4.1. Berat Poros	75
5.4.2. Momen Lengkung pada Poros	75
5.4.3. Tegangan Geser pada Poros	80
5.5. Penentuan Ukuran dan Jarak Poros Roda Gigi	80
5.6. Penentuan Tebal Roda Gigi	82

BAB VI PROSES PEMBUATAN DAN PEMASANGAN TURBIN ANGIN

6.1. Material Turbin Angin	86
----------------------------------	----

6.2. Proses Pembuatan Sudu	86
6.3. Proses Pembuatan Poros Rotor dan Hub	89
6.4. Proses Pembuatan <i>Gearbox</i>	89
6.5. Pembuatan Tiang Turbin	90
6.6. Proses Pembuatan Pondasi Utama.....	91
6.7. Proses Pembuatan Pondasi Penahan Sling	92
6.8. Proses Pemasangan Turbin	93

BAB VII METODOLOGI PENELITIAN

7.1. Objek Penelitian.....	96
7.2. Alat-alat Uji Penelitian	96
7.3. Variasi Objek Penelitian	97
7.4. Pengukuran Kecepatan Angin	97
7.5. Pengukuran Putaran Poros.....	98
7.6. Pengukuran Torsi.....	99
7.7. Langkah-langkah Pengujian	100
7.8. Perhitungan Data	101
7.9. Analisis Data.....	102

BAB VIII HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

8.1. Contoh Perhitungan Daya Keluaran Rotor	103
8.2. Contoh Perhitungan Daya Keluaran <i>Gearbox</i>	104
8.3. Grafik Hubungan antara Koefisien Daya Rotor dan <i>Tip Speed Ratio</i>	106
8.4. Grafik Hubungan antara Koefisien Daya Keluaran <i>Gearbox</i> dan <i>Tip Speed Ratio</i>	108
8.5. Efisiensi Sistem Transmisi	110

BAB IX PENUTUP

9.1. Kesimpulan	112
9.2. Saran	113

DAFTAR PUSTAKA	115
LAMPIRAN	117

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel acuan diameter dan RPM turbin angin (daya 100 – 5000 W)	8
Tabel 2.2 Rangkuman hasil perhitungan untuk bentuk sudu optimum, <i>taper</i> , dan persegi panjang pada turbin angin 50 kW	11
Tabel 2.3 Nilai <i>chord</i> dan pitch angle pada masing-masing elemen sudu.....	16
Tabel 2.4 Nilai <i>chord</i> dan <i>pitch angle</i> linearisasi pada masing-masing elemen sudu	18
Tabel 3.1 Klasifikasi roda gigi	45
Tabel 3.2 Nilai modul standar menurut JIS	48
Tabel 3.3 Tegangan lentur yang diizinkan menurut bahan roda gigi.....	50
Tabel 3.4 Faktor bentuk gigi	51
Tabel 3.5 Faktor dinamis f_v	51
Tabel 3.6 Faktor tegangan kontak pada bahan roda gigi untuk sudut tekanan $\alpha = 20^\circ$	52
Tabel 4.1 Perbandingan karakteristik airfoil NACA 6418, NACA 6518, NACA 6618, NACA 8418, dan NACA 8518	58
Tabel 4.2 Parameter bentuk sudu yang akan diuji	61
Tabel 4.3 Parameter profil sudu airfoil yang akan diuji	63
Tabel 4.4 Perbandingan parameter profil NACA 6518 dengan profil pelat lengkung	65
Tabel 5.1 Berat bagian-bagian poros rotor.....	75
Tabel 8.1 <i>Model Summary</i> grafik hasil olah data karakteristik rotor	107
Tabel 8.2 <i>Model Summary</i> grafik hasil olah data karakteristik keluaran <i>gearbox</i>	109
Tabel 8.3 <i>Model Summary</i> grafik hubungan antara efisiensi sistem transmisi dengan <i>tip speed ratio</i>	111

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Diagram Alur Perhitungan Performa Sudu Teoritis	117
Lampiran B. Data Karakteristik Sudu Ujung Melebar dengan Profil NACA 6418	122
Lampiran C. Data Karakteristik Sudu Ujung Melebar dengan Profil NACA 6518	125
Lampiran D. Data Karakteristik Sudu Ujung Melebar dengan Profil NACA 6618	128
Lampiran E. Data Karakteristik Sudu Ujung Melebar dengan Profil NACA 8418	131
Lampiran F. Data Karakteristik Sudu Ujung Melebar dengan Profil NACA 8518	134
Lampiran G. Data Karakteristik Sudu Ujung Melebar dengan Profil Pelat Lengkung	137
Lampiran H. Perbandingan Karakteristik antara Sudu Ujung Menyempit, Sisi Sejajar, dan Ujung Melebar	140
Lampiran I. Tabel Perhitungan Gaya yang Timbul pada Sudu dengan Profil NACA 6518 pada Kondisi Kritis.....	142
Lampiran J. Hasil Pengujian Karakteristik Rotor Turbin	144
Lampiran K. Hasil Pengujian Karakteristik Daya Keluaran <i>Gearbox</i>	146
Lampiran L. Sampel Data Perhitungan Efisiensi Sistem Transmisi	148

DAFTAR NOTASI

a	: <i>axial induction factor</i>
A	: luas sapuan rotor, <i>swept area</i> (m^2)
a'	: <i>angular induction factor</i>
a_o	: jarak antar-sumbu poros roda gigi
B	: Jumlah sudu
b	: lebar sisi roda gigi (mm)
c	: panjang chord (mm)
C_d	: Koefisien <i>drag</i>
c_k	: kelonggaran puncak
C_l	: Koefisien <i>lift</i>
C_m	: Koefisien <i>pitching moment</i>
C_p	: Koefisien daya
D	: diameter rotor (m)
d_f	: diameter lingkaran kaki (mm)
d_k	: diameter lingkaran kepala (mm)
d_o	: diameter lingkaran jarak bagi (mm)
F	: gaya (N)
F	: <i>tip loss factor</i>
F_a	: gaya searah aksial (N)
F_b'	: Beban lentur yang diizinkan per satuan lebar sisi (kg/mm)
f_c	: faktor koreksi daya
F_h'	: beban permukaan diizinkan per satuan lebar sisi (kg/mm)
F_T	: gaya tangensial pada roda gigi (N)
f_v	: faktor dinamis
F_X	: gaya searah tangensial elemen sudu (N)
F_Y	: gaya normal / tegak lurus bidang putar sudu (N)
h_f	: tinggi kaki (mm)
h_k	: tinggi kepala (mm)

- i : perbandingan transmisi
- k : faktor tinggi kepala
- K_b : faktor kombinasi *shock* dan *fatigue* pada momen lengkung
- k_H : faktor tegangan kontak (kg/mm^2)
- K_T : faktor kombinasi *shock* dan *fatigue* pada momen punter
- L/D : *Lift to drag ratio*
- $\dot{m}$: laju aliran massa (kg/s)
- m : modul gigi (mm)
- M : momen pada sudu (N.m)
- m_1 : massa beban pada bagian kencang tali (kg)
- m_2 : massa beban pada bagian kendur tali (kg)
- M_b : momen lengkung (N.m)
- m_{sudu} : massa sudu (kg)
- M_T : momen punter (N.m)
- N : jumlah elemen
- n : putaran roda gigi (rpm)
- P : daya rotor (W)
- p : tekanan udara lokal (kPa)
- P_d : daya rencana / rata-rata roda gigi (kW)
- Q : Torsi (N.m)
- Q_x : Momen *chordwise bending* (N.m)
- Q_y : Momen *flapwise bending* (N.m)
- R : jari-jari sudu (m)
- R : konstanta udara ($0,287 \text{ kJ/kg.K}$)
- r : radius (m)
- $r_{c.g}$: jarak antara sumbu rotor dengan pusat gravitasi (m)
- Re : angka Reynolds
- r_i : radius elemen ke- i sudu
- s_s : tegangan geser (Pa)
- T : gaya thrust pada sudu (N)
- t : jarak bagi lingkaran (mm)

T	: temperature udara (K)
TSR	: <i>Tip speed ratio</i>
U	: kecepatan angin pada <i>actuator disc</i> , <i>free stream velocity</i> (m/s)
u	: perbandingan putaran roda gigi
U_{rel}	: kecepatan angin relatif (m/s)
v	: kecepatan keliling roda gigi (m/s)
V_{tip}	: kecepatan tangensial pada ujung sudu (m/s)
W	: kecepatan angin relatif (m/s)
Y	: Faktor bentuk gigi
z	: jumlah gigi
α	: sudut serang ($^{\circ}$)
α_o	: sudut kemiringan gigi ($^{\circ}$)
β	: <i>pitch angle</i> elemen ($^{\circ}$)
η_i	: efisiensi roda gigi
η_{sistem}	: efisiensi sistem
λ	: <i>tip speed ratio (TSR)</i>
λ_r	: <i>tip speed ratio</i> lokal
μ	: koefisien viskositas
ν	: viskositas kinematis (m^2/s)
ρ	: massa jenis udara (kg/m^3)
σ	: <i>rotor solidity</i>
σ_a	: Tegangan lentur yang diizinkan (kg/mm^2)
φ	: sudut kecepatan angin relatif ($^{\circ}$)
ω	: kecepatan angular angin (rad/s)
Ω	: kecepatan angular rotor (rad/s)