

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
NASKAH SOAL TUGAS AKHIR	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xxi
DAFTAR LAMPIRAN	xxii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xxiii
INTISARI.....	xxv
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Asumsi dan Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 5
 BAB III LANDASAN TEORI	 10
3.1. Energi Angin	10
3.2. Potensi Angin	11
3.3. Jenis Turbin Angin	12
3.4. Turbin Angin Poros Horizontal Empat Sudu	16
3.5. Gaya Angkat dan Gaya Hambat.....	17
3.6. Daya Angin	18
3.7. Daya Turbin dan Koefisien Daya	20

3.8.	<i>Tip Speed Ratio</i>	24
3.9.	<i>Cut In Speed</i>	25
3.10.	Torsi dan Daya Rotor.....	25
BAB IV	METODOLOGI PENELITIAN	28
4.1.	Objek Penelitian	28
4.2.	Bahan	29
4.3.	Proses Pembuatan	29
4.4.	Variasi Objek Penelitian	32
4.5.	Peralatan uji.....	41
4.6.	Metode Pengujian.....	42
4.6.1.	Pengukuran Kecepatan Angin	43
4.6.2.	Pengukuran Putaran Poros.....	44
4.6.3.	Pengukuran Torsi	44
4.7.	Perhitungan	45
4.8.	Analisa Data	45
BAB V	HASIL DAN PEMBAHASAN	47
5.1.	Data Hasil Pengujian	47
5.2.	Perhitungan Data	47
5.2.1.	<i>Cut in Speed</i>	48
5.2.2.	Kecepatan angin rata-rata	48
5.2.3.	Luas area rotor	50
5.2.4.	Massa Jenis Udara.....	50
5.2.5.	Putaran Rotor Turbin.....	50
5.2.6.	Torsi	50
5.2.7.	<i>Tip Speed</i>	51
5.2.8.	<i>Tip Speed Ratio</i>	51
5.2.9.	Daya Rotor Turbin	51
5.2.10.	Daya Angin Teoritis	52
5.2.11.	Koefisien Daya.....	52
5.3.	Karakteristik Turbin Angin Pada Kecepatan Angin 4,615 m/s	53

5.4. Karakteristik Turbin Angin Pada	
Kecepatan Angin 5,285 m/s	61
5.5. Karakteristik Turbin Angin Pada	
Kecepatan Angin 5,76 m/s	69
5.6. Analisa Data	77
5.6.1. Hubungan Koefisien Daya dengan	
<i>Tip Speed Ratio</i>	77
5.6.1. Hubungan Torsi dengan Putaran Turbin	83
5.6.2. Hubungan Daya Rotor Turbin dengan	
Putaran Turbin	85
5.6.3. Hubungan Kecepatan Angin dengan	
Daya Rotor Turbin	87
5.6.4. Hubungan Kecepatan Angin dengan	
Putaran Rotor Turbin.....	89
5.7. Pembahasan.....	91
BAB VI PENUTUP	93
6.1. Kesimpulan	93
6.2. Saran	93
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Karakteristik koefisien daya rotor dari eksperimen turbin angin WKA-60.....	6
Gambar 2.2.	Karakteristik koefisien torsi rotor dari eksperimen turbin angin WKA-60.....	7
Gambar 2.3.	Pengaruh bentuk sudu pada koefisien daya rotor dihitung dari rotor dengan dua sudu	7
Gambar 2.4.	Koefisien daya rotor dari berbagai model turbin angin ..	8
Gambar 2.5.	Koefisien torsi rotor dari berbagai model turbin angin...	8
Gambar 3.1.	Berbagai konsep turbin angin poros horisontal	13
Gambar 3.2.	Berbagai konsep turbin angin poros vertikal.....	15
Gambar 3.3.	<i>German post windmill</i>	16
Gambar 3.4.	<i>Dutch ground windmill</i> dengan <i>spring sails</i>	16
Gambar 3.5.	<i>Windmill</i> dengan penambahan “ <i>Ventikanten</i> ” <i>sails</i>	16
Gambar 3.6.	Gaya yang terjadi pada airfoil	17
Gambar 3.7.	Kondisi aliran saat energi kinetik pada angin berubah menjadi energi mekanis, menurut teori dasar momentum	21
Gambar 3.8.	Hubungan koefisien daya terhadap rasio kecepatan sebelum dan sesudah perubahan energi.	23
Gambar 3.9.	Kondisi arus aliran yang melewati suatu konverter energi dengan pengambilan gaya mekanis maksimum. ..	24
Gambar 4.1.	Desain model turbin angin poros horisontal empat sudu	28
Gambar 4.2.	Tiga bentuk sudu turbin angin	30
Gambar 4.3.	Rotor turbin	31
Gambar 4.4.	Kerangka turbin angin.....	31
Gambar 4.5.	Model turbin angin poros horisontal empat sudu	32
Gambar 4.6.	Mode kecepatan kipas angin	32
Gambar 4.7.	Sudut sudu (sudu tampak samping)	33

Gambar 4.8. Model I (Bentuk sudu I (datar), Sudut sudu 6°)	34
Gambar 4.9. Model II (Bentuk sudu I (datar), Sudut sudu 10°)	34
Gambar 4.10. Model III (Bentuk sudu I (datar), Sudut sudu 14°)	35
Gambar 4.11. Model IV (Bentuk sudu I (datar), Sudut sudu 18°)	35
Gambar 4.12. Model V (Bentuk sudu I (datar), Sudut sudu 22°)	36
Gambar 4.13. Model VI (Bentuk sudu U, Sudut sudu 6°)	36
Gambar 4.14. Model VII (Bentuk sudu U, Sudut sudu 10°)	37
Gambar 4.15. Model VIII (Bentuk sudu U, Sudut sudu 14°)	37
Gambar 4.16. Model IX (Bentuk sudu U, Sudut sudu 18°)	38
Gambar 4.17. Model X (Bentuk sudu U, Sudut sudu 22°)	38
Gambar 4.18. Model XI (Bentuk sudu UU, Sudut sudu 6°)	39
Gambar 4.19. Model XII (Bentuk sudu UU, Sudut sudu 10°)	39
Gambar 4.20. Model XIII (Bentuk sudu UU, Sudut sudu 14°)	40
Gambar 4.21. Model XIV (Bentuk sudu UU, Sudut sudu 18°)	40
Gambar 4.22. Model XV (Bentuk sudu UU, Sudut sudu 22°)	41
Gambar 4.23. Kipas angin	41
Gambar 4.24. Anemometer Digital	41
Gambar 4.25. Tachometer Digital	42
Gambar 4.26. Posisi pengujian turbin angin	42
Gambar 4.27. Titik pengukuran kecepatan angin	44
Gambar 4.28. Metode <i>band brake</i>	44
Gambar 5.1. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> pada bentuk sudu I, sudut sudu 6° pada kecepatan angin 4,615 m/s	53
Gambar 5.2. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> pada bentuk sudu I, sudut sudu 10° pada kecepatan angin 4,615 m/s	53
Gambar 5.3. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> pada bentuk sudu I, sudut sudu 14° pada kecepatan angin 4,615 m/s	54

Gambar 5.4.	Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> pada bentuk sudu I, sudut sudu 18° pada kecepatan angin 4,615 m/s	54
Gambar 5.5.	Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> pada bentuk sudu I, sudut sudu 22° pada kecepatan angin 4,615 m/s	55
Gambar 5.6.	Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> pada bentuk sudu U, sudut sudu 6° pada kecepatan angin 4,615 m/s	55
Gambar 5.7.	Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> pada bentuk sudu U, sudut sudu 10° pada kecepatan angin 4,615 m/s	56
Gambar 5.8.	Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> pada bentuk sudu U, sudut sudu 14° pada kecepatan angin 4,615 m/s	56
Gambar 5.9.	Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> pada bentuk sudu U, sudut sudu 18° pada kecepatan angin 4,615 m/s	57
Gambar 5.10.	Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> pada bentuk sudu U, sudut sudu 22° pada kecepatan angin 4,615 m/s	57
Gambar 5.11.	Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> pada bentuk sudu UU, sudut sudu 6° pada kecepatan angin 4,615 m/s	58
Gambar 5.12.	Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> pada bentuk sudu UU, sudut sudu 10° pada kecepatan angin 4,615 m/s	58
Gambar 5.13.	Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> pada bentuk sudu UU, sudut sudu 14° pada kecepatan angin 4,615 m/s	59

Gambar 5.14. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> pada bentuk sudu UU, sudut sudu 18° pada kecepatan angin 4,615 m/s	59
Gambar 5.15. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> pada bentuk sudu UU, sudut sudu 22° pada kecepatan angin 4,615 m/s	60
Gambar 5.16. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> (λ) pada bentuk sudu I, sudut sudu 6° pada kecepatan angin 5,285 m/s	61
Gambar 5.17. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> (λ) pada bentuk sudu I, sudut sudu 10° pada kecepatan angin 5,285 m/s	61
Gambar 5.18. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> (λ) pada bentuk sudu I, sudut sudu 14° pada kecepatan angin 5,285 m/s	62
Gambar 5.19. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> (λ) pada bentuk sudu I, sudut sudu 18° pada kecepatan angin 5,285 m/s	62
Gambar 5.20. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> (λ) pada bentuk sudu I, sudut sudu 22° pada kecepatan angin 5,285 m/s	63
Gambar 5.21. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> (λ) pada bentuk sudu U, sudut sudu 6° pada kecepatan angin 5,285 m/s	63
Gambar 5.22. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> (λ) pada bentuk sudu U, sudut sudu 10° pada kecepatan angin 5,285 m/s	64
Gambar 5.23. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> (λ) pada bentuk sudu U, sudut sudu 14° pada kecepatan angin 5,285 m/s	64

Gambar 5.24. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> (λ) pada bentuk sudu U, sudut sudu 18° pada kecepatan angin 5,285 m/s	65
Gambar 5.25. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> (λ) pada bentuk sudu U, sudut sudu 22° pada kecepatan angin 5,285 m/s	65
Gambar 5.26. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> (λ) pada bentuk sudu UU, sudut sudu 6° pada kecepatan angin 5,285 m/s	66
Gambar 5.27. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> (λ) pada bentuk sudu UU, sudut sudu 10° pada kecepatan angin 5,285 m/s	66
Gambar 5.28. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> (λ) pada bentuk sudu UU, sudut sudu 14° pada kecepatan angin 5,285 m/s	67
Gambar 5.29. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> (λ) pada bentuk sudu UU, sudut sudu 18° pada kecepatan angin 5,285 m/s	67
Gambar 5.30. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> (λ) pada bentuk sudu UU, sudut sudu 22° pada kecepatan angin 5,285 m/s	68
Gambar 5.31. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> (λ) pada bentuk sudu I, sudut sudu 6° pada kecepatan angin 5,76 m/s	69
Gambar 5.32. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> (λ) pada bentuk sudu I, sudut sudu 10° pada kecepatan angin 5,76 m/s	69
Gambar 5.33. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> (λ) pada bentuk sudu I, sudut sudu 14° pada kecepatan angin 5,76 m/s	70

Gambar 5.34. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> (λ) pada bentuk sudu I, sudut sudu 18° pada kecepatan angin 5,76 m/s	70
Gambar 5.35. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> (λ) pada bentuk sudu I, sudut sudu 22° pada kecepatan angin 5,76 m/s	71
Gambar 5.36. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> (λ) pada bentuk sudu U, sudut sudu 6° pada kecepatan angin 5,76 m/s	71
Gambar 5.37. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> (λ) pada bentuk sudu U, sudut sudu 10° pada kecepatan angin 5,76 m/s	72
Gambar 5.38. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> (λ) pada bentuk sudu U, sudut sudu 14° pada kecepatan angin 5,76 m/s	72
Gambar 5.39. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> (λ) pada bentuk sudu U, sudut sudu 18° pada kecepatan angin 5,76 m/s	73
Gambar 5.40. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> (λ) pada bentuk sudu U, sudut sudu 22° pada kecepatan angin 5,76 m/s	73
Gambar 5.41. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> (λ) pada bentuk sudu UU, sudut sudu 6° pada kecepatan angin 5,76 m/s	74
Gambar 5.42. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> (λ) pada bentuk sudu UU, sudut sudu 10° pada kecepatan angin 5,76 m/s	74
Gambar 5.43. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> (λ) pada bentuk sudu UU, sudut sudu 14° pada kecepatan angin 5,76 m/s	75

Gambar 5.44. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> (λ) pada bentuk sudu UU, sudut sudu 18° pada kecepatan angin 5,76 m/s	75
Gambar 5.45. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> (λ) pada bentuk sudu UU, sudut sudu 22° pada kecepatan angin 5,76 m/s	76
Gambar 5.46. Perbandingan Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> (λ) pada bentuk sudu I, U dan UU pada sudut sudu 18° dengan kecepatan angin 4,615 m/s	77
Gambar 5.47. Perbandingan Grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> (λ) pada bentuk sudu I, U dan UU pada sudut sudu 18° dengan kecepatan angin 5,285 m/s	77
Gambar 5.48. Perbandingan grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> pada bentuk sudu I, U dan UU pada sudut sudu 18° dengan kecepatan angin 5,76 m/s	78
Gambar 5.49. Perbandingan grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> pada bentuk sudu I, sudut sudu 6° , 10° , 14° , 18° dan 22° dengan kecepatan angin 5,76 m/s	79
Gambar 5.50. Perbandingan grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> pada bentuk sudu U, sudut sudu 6° , 10° , 14° , 18° dan 22° dengan kecepatan angin 5,76 m/s	79
Gambar 5.51. Perbandingan grafik hubungan antara koefisien daya dengan <i>tip speed ratio</i> pada bentuk sudu UU, sudut sudu 6° , 10° , 14° , 18° dan 22° dengan kecepatan angin 5,76 m/s	80

- Gambar 5.52. Perbandingan grafik hubungan antara
koefisien daya dengan *tip speed ratio* pada
kecepatan angin 4,615 m/s, 5,285 m/s dan 5,76 m/s
dengan bentuk sudu I pada sudut sudu 22° 81
- Gambar 5.53. Perbandingan grafik hubungan antara
koefisien daya dengan *tip speed ratio* pada
kecepatan angin 4,615 m/s, 5,285 m/s dan 5,76 m/s
dengan bentuk sudu U pada sudut sudu 22° 81
- Gambar 5.54. Perbandingan grafik hubungan antara
koefisien daya dengan *tip speed ratio* pada
kecepatan angin 4,615 m/s, 5,285 m/s dan 5,76 m/s
dengan bentuk sudu UU pada sudut sudu 22° 82
- Gambar 5.55. Perbandingan grafik hubungan antara
torsi dengan putaran turbin pada
bentuk sudu I dengan sudut sudu 6° pada
kecepatan angin 4,615 m/s, 5,285 m/s dan 5,76 m/s..... 83
- Gambar 5.56. Perbandingan grafik hubungan antara
torsi dengan putaran turbin pada
bentuk sudu U dengan sudut sudu 6° pada
kecepatan angin 4,615 m/s, 5,285 m/s dan 5,76 m/s..... 83
- Gambar 5.57. Perbandingan grafik hubungan antara
torsi dengan putaran turbin pada
bentuk sudu UU dengan sudut sudu 6° pada
kecepatan angin 4,615 m/s, 5,285 m/s dan 5,76 m/s..... 84
- Gambar 5.58. Perbandingan grafik hubungan antara
Daya rotor turbin dengan putaran turbin pada
bentuk sudu I dengan sudut sudu 10° pada
kecepatan angin 4,615 m/s, 5,285 m/s dan 5,76 m/s..... 85

Gambar 5.59. Perbandingan grafik hubungan antara Daya rotor turbin dengan putaran turbin pada bentuk sudu U dengan sudut sudu 10° pada kecepatan angin 4,615 m/s, 5,285 m/s dan 5,76 m/s.....	85
Gambar 5.60. Perbandingan grafik hubungan antara Daya rotor turbin dengan putaran turbin pada bentuk sudu UU dengan sudut sudu 10° pada kecepatan angin 4,615 m/s, 5,285 m/s dan 5,76 m/s.....	86
Gambar 5.61. Grafik hubungan daya rotor turbin dengan kecepatan angin pada turbin angin bentuk sudu I.....	87
Gambar 5.62. Grafik hubungan daya rotor turbin dengan kecepatan angin pada turbin angin bentuk sudu U	87
Gambar 5.63. Grafik hubungan daya rotor turbin dengan kecepatan angin pada turbin angin bentuk sudu UU	88
Gambar 5.64. Grafik hubungan putaran rotor turbin dengan kecepatan angin pada turbin angin bentuk sudu I.....	89
Gambar 5.65. Grafik hubungan putaran rotor turbin dengan kecepatan angin pada turbin angin bentuk sudu U	89
Gambar 5.66. Grafik hubungan putaran rotor turbin dengan kecepatan angin pada turbin angin bentuk sudu UU	90

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Cp pada pengujian kincir dengan 8 sudu (Andika, Triharyanto dan Prasetya, 2007).....	9
Tabel 2.2. Cp pada pengujian kincir dengan 4 sudu (Andika, Triharyanto dan Prasetya, 2007).....	9
Tabel 4.1. Model turbin angin	33
Tabel 5.1. Contoh data hasil pengujian	47
Tabel 5.2. Data <i>Cut in Speed</i>	48
Tabel 5.3. Kecepatan angin pada kecepatan kipas angin mode 1.....	48
Tabel 5.4. Kecepatan angin pada kecepatan kipas angin mode 2.....	49
Tabel 5.5. Kecepatan angin pada kecepatan kipas angin mode 3.....	49

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Gambar teknik model turbin angin poros horisontal empat sudu
- Lampiran 2. Data hasil perhitungan unjuk kerja turbin angin poros horisontal empat sudu

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A	: luas penampang udara, (m^2)
A_1	: luas penampang udara di depan sudu, (m^2)
A_2	: luas penampang udara di belakang sudu, (m^2)
A_p	: luas area rotor turbin angin, (m^2)
C_p	: koefisien daya
E	: energi kinetik udara, (Nm)
F	: gaya dorong udara, (N)
F_{rotor}	: gaya yang memutar rotor turbin, (N)
F_1	: bandul pemberat, (Kg)
F_2	: skala gaya, (Kg)
m	: massa udara, (kg)
$\dot{m}$	: aliran massa udara, (kg/s)
N	: kecepatan putar turbin angin, (rpm)
N_1	: putaran turbin angin pada pengambilan data ke 1, (rpm)
N_2	: putaran turbin angin pada pengambilan data ke 2, (rpm)
N_3	: putaran turbin angin pada pengambilan data ke 3, (rpm)
P	: tekanan udara
P	: daya turbin aktual, (W)
ρ	: massa jenis udara, (kg/m^3)
P_0	: daya angin teoritis, (W)
P_{rotor}	: daya rotor turbin, (W)
R	: konstanta udara, 0.287 kJ/(kg.K)
r	: jari-jari rotor, (m)
r_{pulley}	: jari-jari pulley, (m)
s	: jarak, (m)
s_1	: <i>cut in speed</i> pada titik 1, (m/s)
s_2	: <i>cut in speed</i> pada titik 2, (m/s)
s_3	: <i>cut in speed</i> pada titik 3, (m/s)

- s_4 : *cut in speed* pada titik 4, (m/s)
- t : waktu, (s)
- τ : torsi yang dihasilkan oleh rotor turbin angin, (Nm)
- v : kecepatan angin, (m/s)
- v_1 : kecepatan angin pada titik 1, (m/s)
- v_2 : kecepatan angin pada titik 2, (m/s)
- v_3 : kecepatan angin pada titik 3, (m/s)
- v_4 : kecepatan angin pada titik 4, (m/s)
- V : aliran volume udara, (m^3/s)
- v_1 : kecepatan udara di depan sudu, (m/s)
- v_2 : kecepatan udara di belakang sudu, (m/s)
- v' : kecepatan aliran udara rata-rata (m/s)
- v_T : kecepatan tangensial ujung sudu, (m/s)
- v_r : kecepatan linier rotor turbin, (m/s)
- W : usaha, (J)
- λ : *Tip Speed Ratio*
- ω : kecepatan putar rotor turbin, (rad/s)