



TUGAS AKHIR - TM 141585

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH SUDUT PLAT
PENGANGGU DI DEPAN *RETURNING BLADE*
TURBIN ANGIN TIPE SAVONIUS TERHADAP
PERFORMA TURBIN**

“Studi Kasus untuk Rasio Lebar Plat
Penggangu Terhadap Diameter Turbin (L/D)
= 1,4144”

YOGA ERRY PRIANDIKA
NRP 2112 100 060

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



TUGAS AKHIR - TM 141585

**EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF
DISTURBANCE PLATE ANGLE IN FRONT OF
RETURNING BLADE OF SAVONIUS TYPE WIND
TURBINE TO THE TURBINE PERFORMANCE**

**“Case Study for The Ratio Length of
Disturbance Plate Relative to The Diameter of
Turbine $(L/D) = 1.4144$ “**

**YOGA ERRY PRIANDIKA
NRP 2112 100 060**

**Advisor
Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016**

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH SUDUT PLAT
PENGANGGU DI DEPAN RETURNING BLADE
TURBIN TIPE SAVONIUS TERHADAP PERFORMA
TURBIN**

**“Studi Kasus untuk Rasio Lebar Plat Pengganggu Terhadap
Diameter Turbin ($L/D = 1,4144$)”**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

pada

Bidang Studi Konversi Energi

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

YOGA ERRY PRIANDIKA

NRP. 2112 100 060

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :	
1. <u>Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA</u> (NIP. 196001291987011001)(Pembimbing)
2. <u>Prof. Ir. Sutardi, M.Eng, PhD</u> (NIP. 196412281990031002)(Penguji I)
3. <u>Dr. Wawan Aries Widodo, ST, MT</u> (NIP. 197104051997021001)(Penguji II)
4. <u>Dr. Ir. Heru Mirmanto</u> (NIP. 196202161995121001)(Penguji III)

**SURABAYA,
JULI 2016**

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH SUDUT PLAT
PENGANGGU DI DEPAN *RETURNING BLADE* TURBIN
ANGIN TIPE SAVONIUS TERHADAP PERFORMA
TURBIN**

“Studi Kasus untuk Rasio Lebar Plat Pengganggu Terhadap
Diameter Turbin (L/D) = 1,4144”

Nama Mahasiswa : Yoga Erry Priandika
NRP : 2112 100 060
Jurusan : Teknik Mesin FTI ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Triyogo Yuwono, DEA

Abstrak

Energi Angin merupakan salah satu energi alternatif yang sangat menjanjikan jika dapat dimanfaatkan dengan baik. Pemanfaatan energi angin untuk diubah menjadi energi listrik dapat menggunakan turbin angin dan generator. Turbin angin tipe Savonius merupakan rotor angin dengan sumbu tegak (vertical) yang dikembangkan oleh Singuard J. Savonius pada tahun 1920. Salah satu kelemahan yang dimiliki turbin Savonius yaitu efisiensi yang rendah. Torsi dan putaran yang dihasilkan oleh turbin Savonius disebabkan oleh adanya perbedaan gaya drag pada advancing blade dan returning blade. Salah satu cara untuk meningkatkan performa turbin Savonius dapat dilakukan dengan pemberian plat pengganggu didepan returning blade.

Untuk meningkatkan performa turbin Savonius dengan diameter D sebesar 60 mm dan tinggi h sebesar 80 mm, sebuah plat dengan tebal 3 mm dan lebar 84,9 mm digunakan sebagai pengganggu yang diletakkan didepan returning blade turbin. Pengganggu tersebut diletakkan dengan pada sudut $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$. Penelitian ini dilakukan pada subsonic open circuit wind tunnel. Alat ini memiliki panjang 2980 mm, dengan test section 304 mm x 304 mm. Kecepatan free stream pada wind tunnel diatur sebesar 8,752 m/s, 10,94 m/s, 13,128 m/s, sesuai dengan Reynolds number $Re = 6.0 \times 10^4, 7.5 \times 10^4, 9.0 \times 10^4$ (berdasarkan panjang

karakteristik $d = 2D-b$, dimana b adalah lebar diameter overlap dari kedua sudu turbin, dan kecepatan free stream). Kecepatan aliran udara diukur menggunakan static pitot tube yang dihubungkan dengan inclined manometer. Putaran turbin Savonius diukur menggunakan tachometer. Torsi statis diukur menggunakan torsi meter digital dan daya output dihasilkan dari pengukuran tegangan dan arus listrik yang dihasilkan generator yang dihubungkan dengan poros turbin.

Untuk $Re = 60.000$, penggunaan plat dengan lebar $L/D = 1,4144$ pada posisi $a = 40^\circ$ sebagai pengganggu didepan turbin Savonius, terbukti paling efektif untuk meningkatkan performa turbin Savonius. Pada posisi tersebut didapatkan nilai putaran yang dihasilkan turbin 1,67 kali lebih tinggi dan coefficient of power menjadi 14,6 kali lebih tinggi daripada yang dihasilkan turbin Savonius tanpa plat pengganggu. Sedangkan, untuk nilai torsi statis yang dihasilkan menjadi 1,5 kali lebih tinggi dibandingkan turbin Savonius tanpa plat pengganggu pada $Re = 90.000$ dan posisi $a = 0^\circ$.

Kata kunci : sudut plat pengganggu, putaran turbin, torsi statis dan coefficient of power

**EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF
DISTURBANCE PLATE ANGLE IN FRONT OF
RETURNING BLADE OF SAVONIUS TYPE WIND
TURBINE TO THE TURBINE PERFORMANCE**

“Case Study for The Ratio Length of Disturbance Plate Relative
to The Diameter of Turbine (L/D) = 1.4144 “

Student's Name : Yoga Erry Priandika
NRP : 2112 100 060
Department : Mechanical Engineering FTI ITS
Advisor : Prof. Dr. Ir. Triyogo Yuwono, DEA

Abstract

Wind energy is one of the promising alternative energy when it could be optimally used. Taking advantage of wind energy conversion to get electric power is by using a wind turbine and electric generator. Savonius type wind turbine is a vertical wind rotor which is developed by Singuard Savonius in 1920. The weakness of Savonius turbine is low efficiency. Torsion and rotation produced by the turbine is caused by the drag force difference between its advancing blade and returning blade. One of the method to increase the performance of Savonius turbine is by placing a disturbance plate in front of the returning blade.

In order to increasing the performance of Savonius wind turbine having a diameter D of 60 mm and height h of 80 mm, a plate having a width of 3 mm and a height of 84,9 mm is used as a disturbance located in front of returning blade of turbine. This disturbance is located in various angle of $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$. The experiments were carried out in a subsonic open circuit wind tunnel. This facility has a 2980 mm long, with test section 304 mm x 304 mm. The free stream velocity of wind tunnel could be adjusted to 8,752 m/s, 10,94 m/s, 13,128 m/s, corresponding respectively to Reynolds number $Re = 6.0 \times 10^4$, 7.5×10^4 , 9.0×10^4 (based on equivalent length of $L = 2D-b$, where b is the width of overlap of the two turbine blades, and the free stream velocity).

The velocity of wind is measured using a pitot-static tube connected to the inclined manometer. The rotation of turbine is measured by tachometer. The static torque is measured by digital torquemeter and finally the power output of turbine is determined by measuring of voltage and electric current resulted by generator connecting to the shaft of Savonius turbine.

For Reynolds number 60.000, the use of plate with $L/D = 1,4144$, at the position of $a = 40^\circ$ as the disturbance in front of Savonius turbine, has proven the most effective way to improve the performance of the Savonius Turbine. When the rotation of turbine reached 1.67 time greater and the coefficient of power become 14.6 times greater than if the Savonius turbine without any disturbance. Meanwhile, the static torque can reach 1.5 times greater than the static torque of the Savonius turbine without any disturbance for $Re = 90.000$ and at the position of $a = 0^\circ$.

Keywords : disturbance plate angle, turbine rotation, static torsion and coefficient of power

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan petunjuk sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Sholawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW.

Penulis menyadari bahwa dalam penyelesaian tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Orang tua penulis, Sudi Hartono dan Siti Maria Ulfah, atas segala kasih sayang, dukungan, dan doa yang selalu dipanjatkan untuk anak-anaknya.
2. Kakak kandung penulis Ferry Setya Budi dan seluruh keluarga besar penulis atas nasihat dan pandangan dalam dunia kerja yang selalu memotivasi penulis untuk menjadi sosok yang lebih baik.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA, selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah mencurahkan ilmu, waktu, tenaga, bimbingan dan arahan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Prof. Ir. Sutardi, M.Eng, PhD, Dr. Wawan Aries Widodo, ST, MT, dan Dr. Ir. Heru Mirmanto selaku dosen penguji seminar proposal dan sidang Tugas Akhir yang telah memberikan ilmu, saran dan masukan untuk perbaikan Tugas Akhir ini.
5. Pak Nur dan Pak Tris selaku karyawan Lab. Mekanika Fluida atas bantuan dan nasehatnya dalam pembuatan peralatan eksperimen Tugas Akhir ini.
6. Seluruh dosen serta karyawan di Jurusan Teknik Mesin ITS yang telah memberikan banyak sekali bantuan selama penulis menuntut ilmu di ITS baik dalam bidang akademik maupun non akademik.
7. Bapak Khusnul Yaqin selaku guru spiritual penulis yang selalu memberi masukan, motivasi dan pemecahan masalah yang dihadapi penulis.

8. Bapak Nuraji selaku guru SMP penulis yang telah mengajarkan dasar-dasar ilmu fisika sebagai landasan kuliah di Teknik Mesin ITS.
9. Pramita Indah Sugiarti, atas dukungan dan motivasi dalam perkuliahan, pengerjaan tugas akhir dan untuk menjadi sosok yang lebih baik.
10. Rekan-rekan satu topik Tugas Akhir Audiyatra (boy), Tegar (kencot), Wilis, Adhi, Fira, Muhtadi, Dewi, Irfan dan mbak Ainun yang selalu bersama-sama dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
11. Anggota Divisi Organisasi Rijal (ijank), Havi (bogel), Rasma, Adhi, Yaqin (mbek), Ipin, Anas, Haqqur, Said, Om Zaldy, Junta, Tohir, Wawan, Bagiyo, Alit, Fathu atas segala dukungan dan semangatnya dalam keseharian penulis.
12. Arek-arek budals (bengkel dua belas) dan seluruh anggota Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin atas kerja sama dalam berorganisasi.
13. Teman-teman M55 Mesin ITS atas kebersamaan dan kekeluargaan di kampus perjuangan ini.
14. Keluarga Besar Gendut (Generasi Dua Tiga) SMADAPALA yang selalu memotivasi untuk menjadi seseorang yang besar. See You on Top Guys, semoga kita semua dapat mewujudkan cita-cita yang telah direncanakan.
15. Semua pihak yang turut membantu menyelesaikan Tugas Akhir ini dan tidak dapat penulis sebut satu persatu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini. Oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan saran dan masukan dari semua pihak. Penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan sumbangsih bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Juli 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR SIMBOL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	4
1.3. Batasan Masalah	6
1.4. Tujuan Penelitian	7
1.5. Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1. Turbin Angin.....	9
2.2. Turbin Angin Savonius	10
2.3. Gaya Drag	11
2.4. Daya Turbin	13
2.5. Bilangan Reynolds	15
2.6. <i>Tip Speed Ratio</i>	16
2.7. Penelitian Terdahulu	17
2.7.1. Pemberian Plat Pengganggu dan Pengarah pada Turbin Savonius.....	18
2.7.2 Membandingkan Performa Turbin Savonius Dua Sudu dan Tiga Sudu Dengan Pemberian Plat Pengganggu.....	21
2.7.3. Analisa Performa Pemberian Plat Pengganggu pada Turbin Savonius	

	Menggunakan Simulasi <i>Computational Fluid Dynamics</i>	25
BAB III	METODE PENELITIAN	29
3.1	Analisa Dimensi	29
3.1.1.	Analisa <i>Dimensi Coefficient of Power</i>	30
3.2.	Peralatan	33
3.2.1.	<i>Wind Tunnel</i> (terowongan Angin)	34
3.2.2.	Benda Uji.....	34
3.2.3.	Alat Ukur	36
3.3.	Metode Pengukuran Daya	39
3.4.	Prosedur Penelitian.....	40
3.5.	Flowchart Penelitian.....	42
3.6.	Urutan Langkah Penelitian.....	43
BAB IV	ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	45
4.1	Contoh Perhitungan.....	45
4.1.1.	Perhitungan Bilangan Reynolds	45
4.1.2.	Perhitungan <i>Coefficient of Power</i> (CoP)	49
4.1.3.	Perhitungan <i>Tip Speed Ratio</i> (λ).....	50
4.2.	Analisa Performa Turbin Savonius Tanpa Plat Pengganggu	51
4.2.1.	Analisa Nilai Putaran sebagai Fungsi <i>Reynolds Number</i> pada Turbin Savonius Tanpa Plat Pengganggu	51
4.2.2.	Analisa Nilai Torsi Statis sebagai Fungsi <i>Reynolds Number</i> pada Turbin Savonius Tanpa Plat pengganggu.....	53
4.2.3.	Analisa Nilai <i>Coefficient of Power</i> sebagai Fungsi <i>Reynolds Number</i> pada Turbin Savonius Tanpa Plat Pengganggu.....	54
4.2.4.	Analisa Nilai <i>Coefficient of Power</i> sebagai Fungsi <i>Tip Speed Ratio</i> pada Turbin Savonius Tanpa Plat Pengganggu.....	56

4.3. Analisa Nilai Putaran yang Dihasilkan Turbin Savonius Sebagai Fungsi Sudut Plat Pengganggu.....	58
4.4. Analisa Nilai Torsi Statis yang Dihasilkan Turbin Savonius Sebagai Fungsi Sudut Plat Pengganggu.....	61
4.5. Analisa Nilai <i>Coefficient of Power</i> yang Dihasilkan Turbin Savonius Sebagai Fungsi Sudut Plat Pengganggu.....	67
4.6. Analisa Nilai <i>Coefficient of Power</i> yang Dihasilkan Turbin Savonius Sebagai Fungsi <i>Tip Speed Ratio</i>	73
BAB V PENUTUP	77
5.1 Kesimpulan	77
5.2 Saran.....	77
DAFTAR PUSTAKA	79
LAMPIRAN	81
BIODATA PENULIS	87

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Penamaan bagian Turbin Angin Savonius.....	11
Gambar 2.2 Penguraian komponen gaya <i>drag</i> dan gaya <i>lift</i>	12
Gambar 2.3 Grafik nilai <i>coefficient of power</i> sebagai fungsi tip speed ratio untuk berbagai turbin angin	17
Gambar 2.4 Susunan turbin Savonius dan plat penghalang	18
Gambar 2.5 Grafik pengaruh penambahan plat pengganggu terhadap nilai <i>coefficient of power</i>	19
Gambar 2.6 Grafik pengaruh putaran turbin terhadap sudut plat pengganggu	20
Gambar 2.7 Grafik pengaruh torsi yang dihasilkan terhadap putaran turbin	21
Gambar 2.8 Skema susunan plat pengganggu pada turbin Savonius dengan dua sudu dan tiga sudu	22
Gambar 2.9 Perbandingan struktur aliran pada saat self starting sengan speed ratio (λ) = 0,7; a: turbin dua sudu ; b: turbin tiga sudu	23
Gambar 2.10 Grafik performa turbin Savonius dengan dua sudu sebelum dan setelah diberi plat pengganggu	24
Gambar 2.11 Grafik performa turbin Savonius tiga sudu sebelum dan setelah diberi plat pengganggu	25
Gambar 2.12 Skema turbin Savonius dengan sudu setengah lingkaran dan sudu bentuk optimal	26
Gambar 2.13 Grafik perbandingan performa turbin Savonius dengan pemberian plat pengganggu menggunakan sudu klasik dan sudu bentuk optimal.....	27
Gambar 3.1 Skema penelitian	29
Gambar 3.2 Skema <i>Wind Tunnel Sub Sonic</i>	34
Gambar 3.3 Turbin Angin Savonius.....	35
Gambar 3.4 Plat sebagai pengganggu	36
Gambar 3.5 Tachometer OMEGA seri HHT12	37
Gambar 3.6 Torquemeter LUTRON model TQ-8800.....	37

Gambar 3.7 <i>Static Pitot Tube</i>	38
Gambar 3.8 <i>Inclined Manometer</i>	38
Gambar 3.9 Sanwa Multimeter Digital CD-771.....	39
Gambar 3.10 Rangkaian Generator dan Beban	40
Gambar 3.11 Flowchart penelitian	42
Gambar 4.1 Grafik putaran turbin Savonius tanpa plat pengganggu (n_0) sebagai fungsi Bilangan Reynolds (Re).....	52
Gambar 4.2 Grafik torsi statis turbin Savonius tanpa plat pengganggu (T_0) sebagai fungsi Bilangan Reynolds (Re).....	53
Gambar 4.3 Grafik nilai <i>coefficient of power</i> turbin Savonius tanpa plat pengganggu (CoP_0) sebagai fungsi Bilangan Reynolds (Re)	55
Gambar 4.4 Grafik nilai <i>coefficient of power</i> (CoP_0) turbin Savonius tanpa plat pengganggu sebagai fungsi <i>Tip Speed Ratio</i> (λ)	57
Gambar 4.5 Grafik nilai putaran yang dihasilkan turbin Savonius sebagai fungsi sudut plat pengganggu	59
Gambar 4.6 Grafik peningkatan nilai putaran yang dihasilkan turbin Savonius sebagai fungsi sudut plat pengganggu.....	60
Gambar 4.7 Grafik nilai torsi statis yang dihasilkan turbin Savonius sebagai fungsi sudut plat pengganggu	62
Gambar 4.8 Grafik nilai peningkatan torsi statis yang dihasilkan turbin Savonius sebagai fungsi sudut plat pengganggu	63
Gambar 4.9 Aliran udara yang melintasi turbin Savonius dengan pemberian plat pengganggu di depan returning blade turbin dengan sudut: (a) 0° ; (b) 40°	66

Gambar 4.10 Grafik nilai daya <i>output</i> yang dihasilkan turbin Savonius sebagai fungsi sudut plat pengganggu	67
Gambar 4.11 Grafik nilai <i>Coefficient of Power</i> yang dihasilkan turbin Savonius sebagai fungsi sudut plat pengganggu	69
Gambar 4.12 Grafik peningkatan nilai <i>Coefficient of Power</i> yang dihasilkan turbin Savonius sebagai fungsi sudut plat pengganggu	71
Gambar 4.13 Grafik nilai <i>coefficient of power</i> yang dihasilkan turbin Savonius sebagai fungsi <i>Reynolds Number</i> pada sudut plat pengganggu 40°	72
Gambar 4.14 Grafik nilai <i>coefficient of power</i> yang dihasilkan turbin Savonius sebagai fungsi <i>tip speed ratio</i>	73
Gambar 4.15 Grafik nilai daya <i>output</i> yang dihasilkan turbin Savonius sebagai fungsi putaran dengan pembebanan	74

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data koefisien drag pada berbagai bidang permukaan ($Re > 10^3$).....	13
Tabel 2.2 Variasi panjang dari plat pengganggu dan pengarah.....	19
Tabel 3.1 Rencana waktu penelitian	43
Tabel 4.1 Nilai daya dan <i>coefficient of power</i> yang dihasilkan turbin Savonius tanpa menggunakan plat pengganggu	56

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR SIMBOL DAN SATUAN

ρ	densitas fluida (kg/m^3)
μ	viskositas fluida (N.s/m^2)
U_∞	kecepatan freestream udara (m/s)
D	diameter sudu turbin Savonius (m)
L	lebar plat pengganggu (m)
H	tinggi turbin Savonius (m)
b	diameter overlap (m)
α	sudut plat pengganggu (deg)
S	lebar proyeksi plat pengganggu (m)
t	lebar plat pengganggu (m)
z	jarak antara poros turbin dan poros plat pengganggu (m)
j	tinggi plat pengganggu (m)
d	panjang karakteristik turbin (m)
P_{std}	tekanan absolut udara dalam keadaan standar (N/m^2)
T_{std}	temperatur udara dalam keadaan standar (K)
ρ_{std}	massa jenis udara dalam keadaan standar (kg/m^3)
m_{std}	massa udara pada keadaan standar (kg)
m_{uji}	massa udara pada saat pengujian (kg)
P_{uji}	tekanan udara pada saat pengujian (Pascal)
T_{uji}	temperature ruangan pada saat pengujian (K)
Re	bilangan Reynolds
g	gaya grafitasi (m/s^2)
SG	specific grafitity
h	kenaikan ketinggian manometer (m)
x	kenaikan ketinggian manometer dalam sudut 15° (m)
V	tegangan listrik (volt)
I	arus listrik (ampere)
n	putaran turbin (rpm)
n_0	putaran turbin tanpa plat pengganggu (rpm)
n_b	putaran turbin dengan pembebanan (rpm)

P_{out}	daya <i>output</i> turbin (W)
P_g	daya generator (W)
P_{in}	daya <i>input</i> (W)
ω	kecepatan sudut turbin (rad/s)
T	torsi statis (N.cm)
T_0	torsi statis turbin tanpa plat pengganggu (N.cm)
CoP	<i>coefficient of power</i>
λ	<i>tip speed ratio</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Krisis energi menjadi masalah serius yang sedang dihadapi dunia disebabkan sumber energi yang ada sudah mulai menipis. Penggunaan energi secara besar-besaran mengancam suatu saat negara-negara akan mengalami kekurangan energi untuk memenuhi kebutuhannya. Pada saat ini sumber energi yang berasal dari fosil masih menjadi sumber energi utama untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Tetapi seperti yang kita ketahui bahwa sumber energi tersebut merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui karena pembentukannya membutuhkan waktu jutaan tahun sehingga suatu saat energi tersebut akan habis. Oleh sebab itu saat ini berbagai negara didunia berlomba membuat sumber energi alternatif untuk mengatasi krisis energi. Salah satunya adalah energi angin yang telah dikembangkan di berbagai negara.

Energi Angin merupakan salah satu energi alternatif yang sangat menjanjikan jika dapat dimanfaatkan dengan baik. Karena pemanfaatan energi ini tidak menghasilkan polusi, sumber energinya sangat berlimpah didunia dan dapat langsung dikonversikan ke dalam bentuk energi lain misalnya kedalam bentuk energi listrik. Banyak negara yang telah mengembangkan dan memanfaatkan energi angin sebagai sumber energi alternatif untuk menggantikan energi fosil. Berdasarkan hasil yang dikeluarkan oleh *Global Wind Energy Council (GWEC)* pada saat ini negara pengembang energi angin (lebih dari 70 negara) dapat menghasilkan energi angin sebesar 742 GW. Greenpeace memprediksikan 10% kebutuhan listrik dunia dapat disediakan oleh angin

pada 2020 dengan adanya pengembangan teknologi. Para ahli memperkirakan energi angin dapat mengambil 5% dari pasar energi dunia pada tahun 2020 (**Gupta et al , 2008**). Pemanfaatan energi angin untuk diubah menjadi energi listrik dapat menggunakan turbin angin dan generator. Aliran udara diarahkan untuk memutar turbin kemudian putaran turbin akan ditransmisikan untuk memutar generator yang akan menghasilkan energi listrik. Salah satu turbin angin yang dapat digunakan untuk menstransmisikan energi angin pada generator listrik adalah turbin Savonius.

Turbin Savonius merupakan rotor angin dengan sumbu tegak (*vertical*) yang dikembangkan oleh *engineer* asal Finlandia, Singuard Savonius pada tahun 1920. Turbin savonius konvensional yang paling sederhana dibuat menggunakan plat silinder yang dibelah dua pada bagian tengah dan disatukan sehingga membuat penampang huruf S. Pada turbin Savonius terdapat dua jenis *blade* yaitu *advancing blade* dan *returning blade*. Pada saat turbin Savonius konvensional bekerja, dorongan dari angin yang mengalir menyebabkan adanya gaya drag pada kedua *blade* turbin. Tetapi gaya drag yang timbul pada *advancing* dan *returning blade* memiliki perbedaan nilai disebabkan oleh bentuk dari kedua *blade* tersebut terhadap aliran angin. Perbedaan gaya drag pada kedua *blade* tersebut menyebabkan adanya torsi yang dapat memutar turbin Savonius. Apabila torsi yang dihasilkan tersebut dikalikan dengan kecepatan angular turbin maka akan didapatkan daya turbin Savonius. Sehingga semakin besar perbedaan gaya drag antara *advancing blade* dan *returning blade* maka daya yang dihasilkan juga akan semakin besar. Untuk memperbesar perbedaan gaya drag tersebut dapat dilakukan dengan cara memberi penghalang didepan *returning blade*

sehingga dapat mengurangi gaya drag pada blade tersebut. Selain itu dapat juga dengan cara mengarahkan aliran udara dari sisi *returning blade* ke *advancing blade* sehingga dapat memperbesar gaya drag pada *advancing blade*.

Pada penelitian **Altan et al (2008)** dilakukan percobaan dengan memberikan plat penghalang didepan *returning blade* dan plat pengarah di depan *advancing blade*. Pada percobaan ini digunakan tiga buah variasi panjang dan sudut pada plat penghalang serta plat pengarah. Hasil yang didapatkan yaitu nilai daya terbesar terletak pada turbin Savonius dengan plat penghalang yang paling panjang dimana jika tanpa adanya plat penghalang turbin menghasilkan koefisien daya sebesar 0,16 dan dengan adanya penghalang koefisien dayanya naik sebesar 38,5%.

Pada penelitian **Thevenin et al (2010)** mensimulasikan pemberian plat pengganggu didepan *returning blade* turbin Savonius menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamics (CFD)* dengan variasi besar sudut plat (β) dan speed ratio (λ). Pada penelitian ini plat penghalang diletakkan pada posisi ($X_1/R = -1.2383$, $Y_1/R = -0.4539$, $X_2/R = -1.0999$ dan $Y_2/R = -1.1770$, dengan sudut $\beta = 100.8^\circ$). Hasil yang diperoleh adalah pada turbin Savonius yang telah diberi penghalang terjadi kenaikan daya output sebesar 38,9% pada $\lambda = 0,7$ dan juga terjadi kenaikan torsi sebesar 75,4% pada $\lambda = 1,4$ dibandingkan tanpa pemberian plat pengganggu.

Pada penelitian **Mohamed et al (2010)** membandingkan antara turbin Savonius yang menggunakan dua sudu dan tiga sudu dimana masing-masing turbin diberi plat penghalang didepan *returning blade* dengan variasi besar sudut plat (β) dan speed ratio (λ). Analisa dalam penelitian ini digunakan simulasi *Computational Fluid*

Dynamics (CFD). Hasil yang didapat adalah dengan penambahan plat pengganggu dapat meningkatkan kemampuan *self-starting* pada turbin Savonius dua sudu maupun tiga sudu. Adanya pemberian plat penghalang meningkatkan koefisien daya yang dihasilkan sebesar 27,3% pada turbin Savonius dengan menggunakan dua sudu dan meningkatkan koefisien daya sebesar 27,5% pada turbin Savonius dengan menggunakan tiga sudu.

Dengan banyaknya referensi diatas maka masih perlu dilakukan penelitian untuk meningkatkan performa turbin Savonius. Dalam penelitian ini akan dilakukan peningkatan performa turbin Savonius menggunakan plat penghalang persegi panjang di depan *returning blade* turbin Savonius dengan menggunakan variasi sudut antara plat penghalang dan bidang tegak lurus aliran udara, dengan sudut plat pengganggu divariasikan antara 0° sampai 90° dengan kenaikan 5° pada reynolds number 60.000, 75.000 dan 90.000.

1.2 Perumusan Masalah

Turbin Savonius memiliki beberapa kelebihan diantaranya adalah desainnya yang sederhana dan pembuatannya membutuhkan biaya yang murah. Tetapi disamping kelebihan tersebut turbin ini juga memiliki kelemahan diantaranya adalah efisiensi yang rendah. Dari berbagai penelitian terdahulu telah banyak upaya yang dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dari turbin Savonius. Cara yang paling mudah dan membutuhkan biaya yang murah adalah dengan memberikan plat pengganggu di depan *returning blade* turbin Savonius. Pemberian plat pengganggu ini bertujuan untuk memperkecil gaya drag yang terjadi pada *returning blade*. Jika gaya drag pada

returning blade dapat diperkecil maka selisih antara gaya drag pada *advancing blade* dan *returning blade* menjadi lebih besar. Sehingga torsi yang memutar rotor turbin Savonius akan semakin besar. Dengan semakin besarnya torsi yang memutar rotor turbin Savonius maka koefisien daya yang dihasilkan juga akan semakin besar.

Pemasangan plat pengganggu di depan *returning blade* tidak hanya dipasang tegak lurus terhadap aliran fluida tetapi dipasang dengan sudut tertentu. Hal ini diharapkan agar plat pengganggu bukan hanya untuk menghalangi aliran pada *returning blade* sehingga memperkecil gaya drag pada *returning blade* tetapi juga dapat berfungsi sebagai pengarah aliran fluida. Aliran fluida yang mengalir menuju *returning blade* akan menabrak plat pengganggu dan diarahkan menuju *advancing blade* sehingga aliran fluida pada *advancing blade* akan semakin cepat dan memperbesar gaya drag pada *advancing blade*. Dengan demikian maka adanya peningkatan gaya drag pada *advancing blade* menyebabkan selisih gaya drag pada *advancing blade* dan *returning blade* akan semakin besar. Torsi yang akan memutar rotor turbin Savonius juga akan semakin besar sehingga koefisien daya yang dihasilkan juga akan semakin besar.

Pada penelitian ini digunakan turbin Savonius dengan dua sudu dan diberi plat pengganggu berbentuk persegi panjang dengan variasi sudut antara plat pengganggu dan bidang tegak lurus arah gerak aliran fluida. Hipotesa awal yang diharapkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pemberian plat pengganggu di depan *returning blade* turbin Savonius akan berpengaruh terhadap gaya drag yang dialami oleh *returning blade*. Menurunnya gaya drag pada *returning blade* akan menyebabkan

meningkatnya torsi pada rotor turbin Savonius. Dengan meningkatnya torsi maka koefisien daya yang dihasilkan juga akan semakin besar.

2. Variasi sudut dari plat pengganggu dapat berpengaruh terhadap gaya drag dari *advancing blade*, yaitu untuk mengarahkan aliran udara dari sisi *returning blade* ke *advancing blade* sehingga akan menambah gaya drag pada sisi *advancing blade*. Dengan demikian selisih gaya drag antara *returning blade* dan *advancing blade* akan semakin besar. Dengan meningkatnya selisih gaya drag maka torsi pada rotor turbin Savonius akan semakin besar dan koefisien daya yang dihasilkan juga akan semakin besar.

Untuk membuktikan hipotesa diatas maka dilakukan penelitian dengan menggunakan turbin angin tipe Savonius dengan diameter sudu (D) = 60 mm serta plat pengganggu berbentuk persegi panjang dengan nilai $L/D = 1,4144$. Sudut dari plat pengganggu divariasikan 0° sampai 90° dengan kenaikan 5° pada nilai *Reynolds Number* 60.000, 75.000 dan 90.000.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini agar hasil yang didapat sesuai dengan tujuan yang diharapkan adalah sebagai berikut:

1. Aliran udara pada sisi inlet diasumsikan uniform, steady, dan incompressible.
2. Perpindahan panas akibat gesekan antara benda uji dengan aliran fluida dapat diabaikan.
3. Penelitian dilakukan dengan menggunakan aliran udara satu arah.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pemberian plat pengganggu di depan returning blade terhadap performa turbin Savonius. Plat pengganggu berbentuk persegi panjang dengan nilai $L/D = 1,4144$ akan diletakkan didepan *returning blade* turbin savonius dengan variasi sudut antara plat pengganggu dengan bidang tegak lurus aliran fluida. Pada penelitian ini akan diukur sebagai berikut :

1. Putaran dari turbin Savonius ketika diberi aliran udara dengan *Reynolds Number* tertentu.
2. Torsi statis dari turbin savonius ketika diberi aliran udara dengan *Reynold Number* tertentu
3. Nilai tegangan dan arus listrik dari generator untuk mendapatkan nilai daya yang dihasilkan turbin Savonius.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang didapat dari penelitian pemberian plat pengganggu di depan returning blade turbin Savonius ini diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Mampu menjelaskan pengaruh pemberian plat pengganggu terhadap nilai torsi, putaran dan *coefficient of power* turbin Savonius.
2. Mampu menjelaskan pengaruh sudut antara plat pengganggu dan bidang tegak lurus aliran fluida terhadap nilai torsi, putaran dan dan *coefficient of power* turbin Savonius.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Turbin Angin

Turbin angin merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengubah energi kinetik dari kecepatan angin menjadi energi mekanis yang berupa putaran poros turbin. Energi mekanis yang berupa putaran poros turbin akan dihubungkan pada sebuah generator untuk diubah menjadi energi listrik. Turbin angin pada saat ini telah banyak diaplikasikan di beberapa negara sebagai pembangkit energi listrik utama. Secara umum turbin angin yang banyak digunakan dibagi menjadi dua yaitu *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT) dan *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT).

Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) merupakan turbin angin yang arah putarnya mengikuti arah angin dimana posisi porosnya sejajar terhadap arah gerak angin sedangkan posisi *bladenya* tegak lurus terhadap arah gerak angin. *Blade* yang digunakan pada HAWT biasanya berbentuk *airfoil* yang jika terkena aliran angin akan menimbulkan gaya angkat (*lift*) dan gaya angkat tersebut yang menyebabkan putaran pada turbin. Jumlah *blade* pada HAWT disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi angin sehingga dapat berjumlah satu (*single blade*) atau banyak (*multi blade*). Jenis turbin ini cocok untuk digunakan pada angin dengan kecepatan sedang sampai tinggi. Turbin HAWT memiliki efisiensi yang relatif tinggi. Selain itu, semakin tinggi menara turbin maka semakin besar pula kecepatan putaran turbin. Kekurangan turbin jenis ini diantaranya yaitu semakin tinggi menara dan semakin panjang sudu maka biaya instalasinya juga akan semakin besar. Konstruksi dari menara juga akan lebih berat karena harus menyangga gearbox dan sudu dari turbin yang letaknya ada diatas. Selain itu pada turbin jenis ini dibutuhkan mekanisme kontrol untuk membelokkan poros turbin agar sejajar dengan arah datangnya angin.

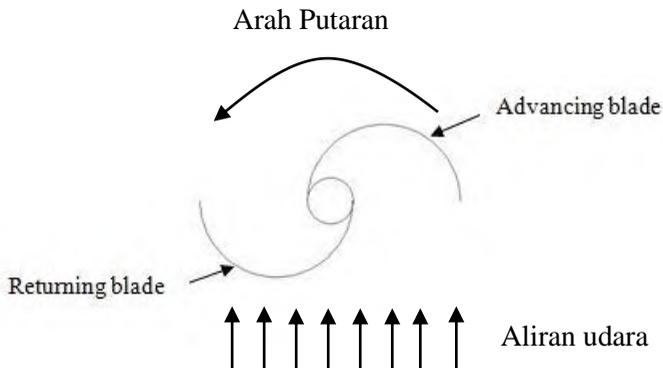
Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) merupakan turbin angin dengan poros utama tegak lurus dengan arah datangnya

aliran angin. Gerakan putaran poros dan sudu dari turbin jenis ini sejajar dengan arah aliran angin sehingga turbin ini dapat berputar pada semua arah aliran angin. Turbin ini memiliki kelebihan utama dibanding HAWT yaitu turbin tidak harus diarahkan searah dengan aliran angin sehingga sangat berguna ditempat-tempat yang arah anginnya bervariasi atau mudah berubah. Selain itu dengan sumbu yang vertikal, generator dan gearbox dapat ditempatkan didekat tanah sehingga juga dapat mempermudah dalam hal perawatan. VAWT memiliki kecepatan awal yang lebih rendah daripada HAWT sehingga dapat digunakan di tempat-tempat yang memiliki aliran angin dengan kecepatan rendah. Tetapi turbin ini juga memiliki beberapa kekurangan diantaranya yaitu efisiensi yang dimiliki lebih rendah dari HAWT dan pada kecepatan angin yang rendah juga akan menghasilkan putaran yang rendah. Pada saat ini ada tiga jenis *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT) diantaranya yaitu Savonius, Darius, dan H. Pada Turbin Savonius memanfaatkan gaya drag yang ditimbulkan oleh aliran angin sedangkan pada turbin Darius dan H memanfaatkan gaya lift.

2.2 Turbin Angin Savonius

Turbin Savonius merupakan rotor angin dengan sumbu tegak (*vertical*) yang dikembangkan oleh *engineer* asal Finlandia, Singuard Savonius pada tahun 1920. Turbin savonius konvensional yang paling sederhana dibuat menggunakan plat silinder yang dibelah dua pada bagian tengah dan disatukan sehingga membuat penampang huruf S. Pada turbin Savonius terdapat dua jenis *blade* yaitu *advancing blade* dan *returning blade* seperti yang ditunjukkan gambar 2.1. Pada saat turbin Savonius konvensional bekerja dorongan dari angin yang mengalir menyebabkan adanya gaya drag pada kedua *blade* turbin. Tetapi gaya drag yang timbul pada *advancing* dan *returning blade* memiliki perbedaan nilai disebabkan oleh bentuk dari kedua *blade* tersebut terhadap aliran angin. Perbedaan gaya drag pada kedua *blade* tersebut menyebabkan adanya torsi yang

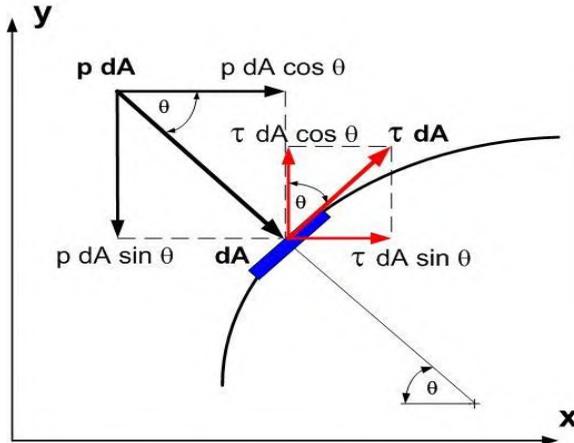
dapat memutar turbin Savonius. Apabila torsi yang dihasilkan tersebut dikalikan dengan kecepatan angular turbin maka akan didapatkan daya turbin Savonius. Sehingga semakin besar perbedaan gaya drag antara *advancing blade* dan *returning blade* maka daya yang dihasilkan juga akan semakin besar.



Gambar 2.1 Penamaan bagian Turbin Angin Savonius

2.3 Gaya Drag

Gaya drag merupakan suatu gaya yang terjadi pada saat suatu benda dialiri oleh aliran fluida. Gaya drag terbentuk karena adanya tekanan dan gaya geser dari aliran fluida terhadap permukaan dari benda tersebut. Terdapat dua gaya yang diakibatkan oleh aliran fluida terhadap benda tersebut. Gaya yang arahnya sejajar dengan arah aliran disebut gaya drag sedangkan gaya yang arahnya tegak lurus dengan arah aliran disebut gaya lift. Pada gaya drag terdapat dua komponen yaitu *skin friction drag* dan *pressure drag*. *Skin friction drag* merupakan gaya hambat yang diakibatkan oleh tegangan geser antara fluida dan permukaan benda sedangkan *pressure drag* yaitu gaya hambat yang diakibatkan adanya tekanan fluida dan arahnya tegak lurus terhadap permukaan benda. Gaya drag total merupakan resultan antara *friction drag* dan *pressure drag*.



Gambar 2.2 Penguraian komponen gaya drag dan gaya lift

Pada gambar 2.2 diatas dapat diketahui bahwa komponen gaya yang searah sumbu x adalah gaya drag sedangkan komponen yang searah sumbu y adalah gaya lift. Gaya hambat yang terbentuk dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$F_D = F_{Dp} + F_{Df} \quad (2.1)$$

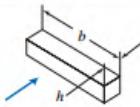
$$F_D = \int \cos\theta.(p.dA) + \int \sin\theta.(\tau.dA) \quad (2.2)$$

Selain persamaan diatas, besarnya gaya drag juga dapat diketahui dengan persamaan di bawah ini :

$$F_D = C_D \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U^2 \cdot A \quad (2.3)$$

Dari persamaan diatas dapat diketahui bahwa gaya drag dipengaruhi oleh nilai koefisien drag (C_D), massa jenis fluida (ρ), kecepatan fluida (U^2), dan luas proyeksi benda yang terkena aliran fluida (A). Koefisien drag merupakan bilangan tak berdimensi yang diperoleh dari hasil integrasi dan distribusi tekanan sepanjang kontur benda yang merupakan kontribusi dari *normal pressure* atau *pressure drag*. Nilai koefisien drag pada berbagai permukaan benda dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel. 2.1 Data koefisien drag pada berbagai bidang permukaan ($Re > 10^3$) (Fox, 1998)

Object	Diagram		$C_D(Re \geq 10^3)$
Square prism		$b/h = \infty$	2.05
		$b/h = 1$	1.05
Disk			1.17
Ring			1.20^b
Hemisphere (open end facing flow)			1.42
Hemisphere (open end facing downstream)			0.38
C-section (open side facing flow)			2.30
C-section (open side facing downstream)			1.20
			

^aData from Hoerner [16].
^bBased on ring area.

2.4 Daya Turbin

Turbin dapat mengkonversikan energi angin menjadi energi putaran poros turbin. Mekanismenya yaitu aliran angin menabrak turbin dengan kecepatan masuk (U_1) kemudian turbin akan berputar dengan kecepatan tertentu (U_2) dan kecepatan angin setelah menabrak turbin adalah sebesar (U_3). Dengan asumsi pada sistem tidak terjadi perubahan energi dalam maka laju aliran massa (*mass flow rate*) secara matematik dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\dot{m} = \rho \cdot Q = \rho \cdot U_1 \cdot A \quad (2.4)$$

Sehingga daya angin (P) yang menabrak turbin berdasarkan energi kinetiknya adalah sebagai berikut :

$$P = \frac{1}{2}(\rho AU_1)(U_1^2) = \frac{1}{2}\rho AU_1^3 \quad (2.5)$$

Nilai A merupakan luas penampang aliran fluida yang menabrak turbin. Luasan tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$A = d \cdot H = (2.D-b) \cdot H \quad (2.6)$$

Dengan : A = Luas penampang aliran

d = Panjang karakteristik

b = Diameter overlap

D = Diameter sudu turbin

H = Tinggi turbin

Nilai daya pada persamaan 2.5 adalah daya yang dimiliki oleh angin sebelum melewati turbin. Ketika daya dari aliran angin diubah menjadi putaran poros terdapat efisiensi yang menyebabkan daya yang dihasilkan berbeda dengan daya aliran angin yang menabrak poros. Daya yang dihasilkan oleh turbin merupakan daya riil (P_r). Rasio antara daya riil dan daya aliran angin disebut dengan *coefficient of power*. Secara perumusan dapat ditulis sebagai berikut :

$$P_r = C_p \frac{1}{2} \rho A U_1^3 \quad (2.7)$$

$$C_{op} = \frac{P_r}{\frac{1}{2}\rho A U_1^3} \quad (2.8)$$

$$C_{op} = \frac{P_r}{P} \quad (2.9)$$

Untuk mengukur nilai daya riil yang dihasilkan dapat dilakukan dengan menghubungkan poros dengan generator. Daya listrik generator dapat diketahui dengan mengukur nilai tegangan dan arus dari generator tersebut. Secara perumusan dapat ditulis sebagai berikut :

$$P_G = V \cdot I \quad (2.10)$$

dimana: P_G = daya listrik generator (watt)

V = tegangan yang dihasilkan dari generator
(*volt*)

I = kuat arus yang dihasilkan dari generator
(*A*)

Sehingga pada penelitian ini nilai coefficient of power yang digunakan yaitu perbandingan antara daya listrik yang dihasilkan generator dan daya angin yang menuju turbin Savonius atau dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$C_{op} = \frac{P_G}{\frac{1}{2}\rho A U_1^3} \quad (2.11)$$

$$C_{op} = \frac{V \cdot I}{\frac{1}{2}\rho A U_1^3} \quad (2.12)$$

2.5 Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds merupakan bilangan tak berdimensi yang digunakan untuk mengidentifikasi jenis aliran laminar atau turbulen. Bilangan Reynolds diperoleh dari rasio antara gaya inersia dan gaya geser. Pada perhitungan bilangan Reynolds untuk aliran eksternal digunakan persamaan berikut :

$$Re = \frac{\rho \cdot U \cdot L}{\mu} \quad (2.13)$$

Pada persamaan diatas dapat diketahui bahwa nilai bilangan Reynolds dipengaruhi oleh densitas fluida (ρ), kecepatan aliran fluida (U), panjang karakteristik yang diukur pada medan aliran (L) dan viskositas dinamis fluida (μ). Untuk aliran internal, nilai bilangan Reynolds dapat diketahui dengan persamaan:

$$Re = \frac{\rho \cdot U \cdot d}{\mu} \quad (2.14)$$

Nilai d merupakan panjang karakteristik dari turbin Savonius yang digunakan dalam penelitian ini atau dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$d = 2.D - b \quad (2.15)$$

dimana : d = Panjang karakteristik
 b = Diameter overlap
 D = Diameter sudu turbin

2.6 Tip Speed Ratio

Tip Speed Ratio (λ) merupakan perbandingan antara kecepatan putar diujung turbin terhadap kecepatan angin. TSR dapat dirumuskan sebagai berikut:

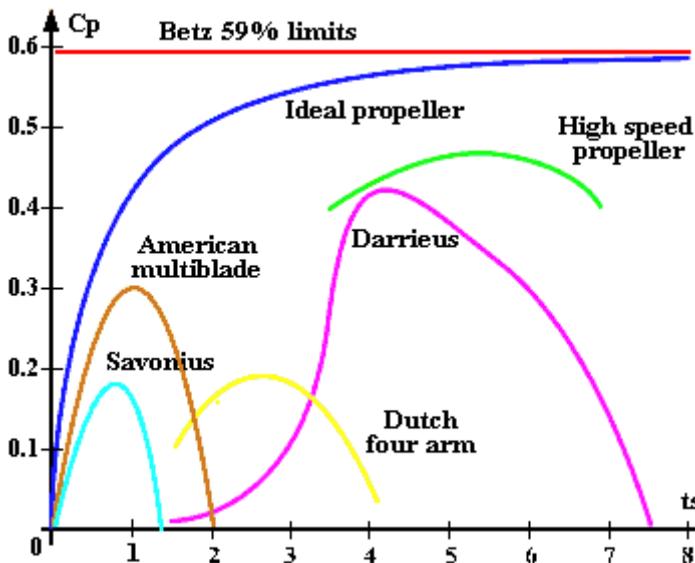
$$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{U} \quad (2.16)$$

Dengan:

λ = *tip speed ratio*
 ω = kecepatan sudut turbin (rad/s)
 R = jari-jari putaran turbin (m)
 U = kecepatan angin (m/s)

Pada setiap jenis turbin angin memiliki karakter yang berbeda-beda mengenai hubungan antara *coefficient of power* dan *tip speed ratio* yang dimiliki. Grafik antara *coefficient of power* dan *tip speed ratio* untuk berbagai macam turbin angin dapat dilihat pada gambar 2.3. Tiap turbin angin memiliki titik kerja yang berbed-beda. Titik mulai grafik menunjukkan bahwa turbin angin akan mulai bekerja pada nilai *TSR* tertentu. Jika titik mulai berada pada *TSR* rendah maka turbin tersebut mampu bekerja pada kecepatan angin rendah. Selain itu secara umum pada grafik tiap turbin juga ditunjukkan bahwa dengan semakin meningkatnya *TSR*, hal ini tidak serta merta akan meningkatkan nilai *coefficient of power*. Pada saat tertentu saja *coefficient of*

power akan berada pada posisi maksimum. Batas *Betz* (*Betz Limit*) merupakan batas *coefficient of power* terbesar yang dapat dihasilkan turbin angin dibanding energi mekanik yang dihasilkan aliran udara yang mengenainya. *Albert Betz*, seorang ahli *aerodinamika* Jerman menemukan, menemukan bahwa *coefficient of power* maksimum untuk turbin angin adalah 0.593. *Coefficient of power* maksimum ini adalah nilai *coefficient of power* tertinggi untuk seluruh jenis turbin angin, baik *Horizontal Axis Wind Turbin (HAWT)* maupun *Vertical Axis Wind Turbin (VAWT)*.



Gambar 2.3 Grafik nilai *coefficient of power* sebagai fungsi tip speed ratio untuk berbagai turbin angin (Fox, 1998)

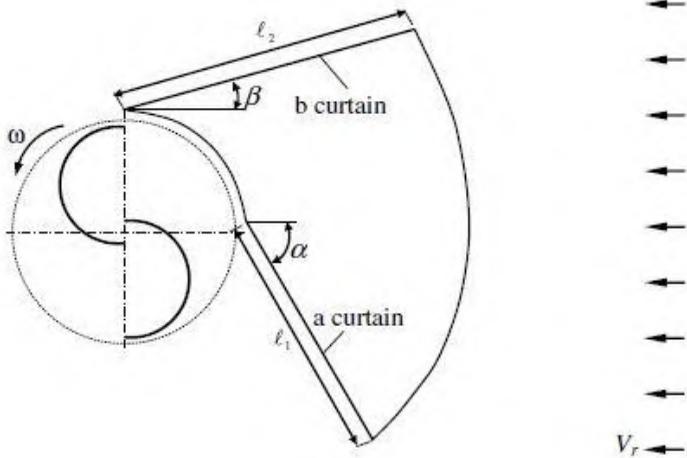
2.7 Penelitian Terdahulu

Dalam penelitian ini dibutuhkan studi referensi dari penelitian-penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Penelitian tersebut antara lain tentang turbin

perbandingan sudu turbin Savonius dan pemberian penghalang pada turbin Savonius.

2.7.1 Pemberian Plat Pengganggu dan Pengarah pada Turbin Savonius

Pada penelitian ini dilakukan pemberian plat pengganggu dan pengarah aliran udara didepan turbin Savonius. Penelitian dilakukan oleh **Altan et al (2008)** dengan ukuran diameter (D) dan tinggi rotor (H) sebesar 32 cm. Tebal plat yang digunakan untuk membuat blade yaitu 2 mm. Plat setebal 4 mm diletakkan di depan turbin dengan sudut α dan β terhadap arah datangnya aliran udara dan disusun seperti pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Susunan turbin Savonius dan plat penghalang (Altan et al, 2008)

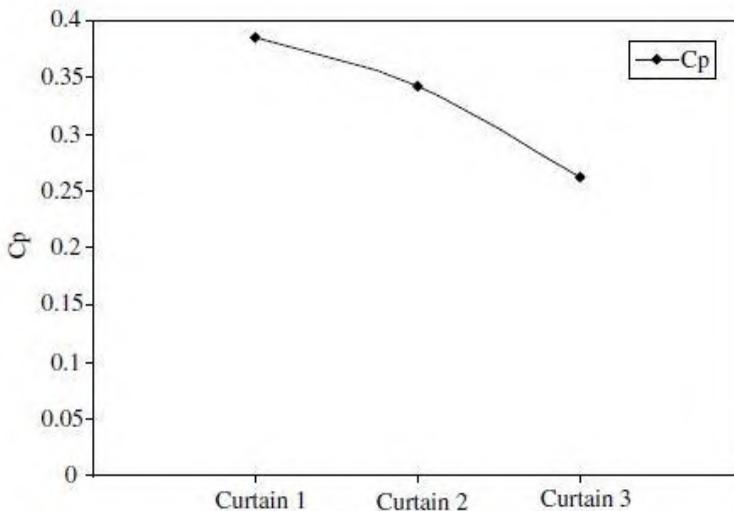
Nilai sudut α dan β pada susunan diatas yaitu masing-masing sebesar 45° dan 15° . Pada penelitian ini dilakukan pada kecepatan angin 7 m/s ($Re = 1,5 \times 10^5$) dan digunakan tiga variasi

dari plat penghalang dan pengarah seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Variasi panjang dari plat pengganggu dan pengarah
(Altan et al, 2008)

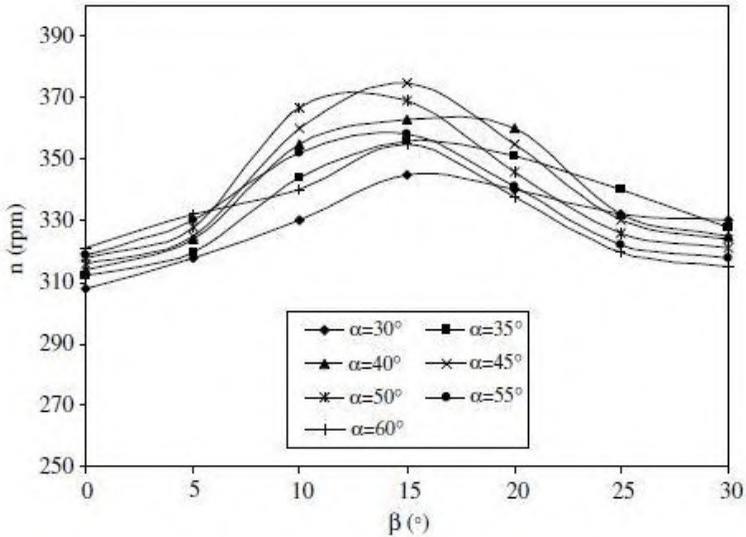
Type of curtain arrangement	Distance ℓ_1 (cm)	Distance ℓ_2 (cm)
Curtain 1	45	52
Curtain 2	34	39
Curtain 3	22	26

Dari penelitian tersebut didapatkan nilai *coefisien of power* pada variasi 1 sebesar 0,38533, pada variasi 2 sebesar 0,34154 dan pada variasi 3 sebesar 0,26273. Atau dapat dilihat pada gambar 2.5 dibawah ini :



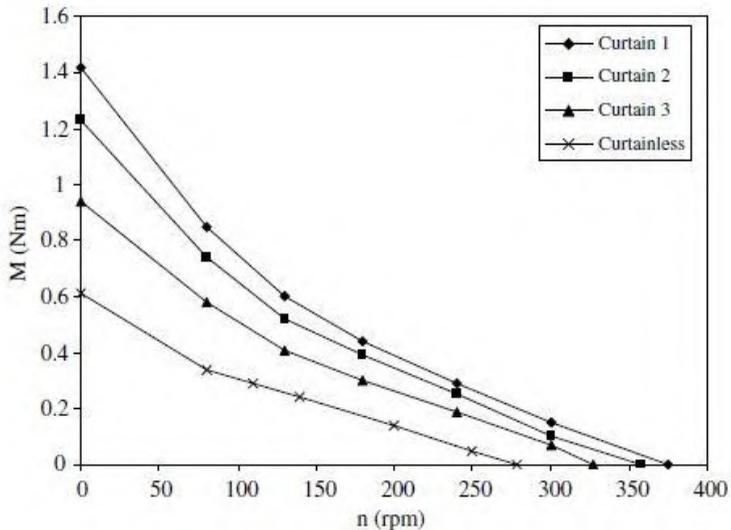
Gambar 2.5 Grafik pengaruh penambahan plat pengganggu terhadap nilai *coefisien of power* (Altan et al, 2008)

Selain itu penambahan plat pengganggu dan pengarah juga berpengaruh terhadap putaran turbin rotor Savonius. Hasil pengukuran putaran rotor turbin dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Grafik pengaruh putaran turbin terhadap sudut plat pengganggu 1 (Altan et al, 2008)

Penambahan plat pengganggu juga berpengaruh terhadap nilai torsi yang dihasilkan oleh rotor turbin Savonius. Pengaruh nilai torsi yang dihasilkan terhadap putaran dan penambahan plat penghalang dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Grafik pengaruh torsi yang dihasilkan terhadap putaran turbin (Altan et al, 2008)

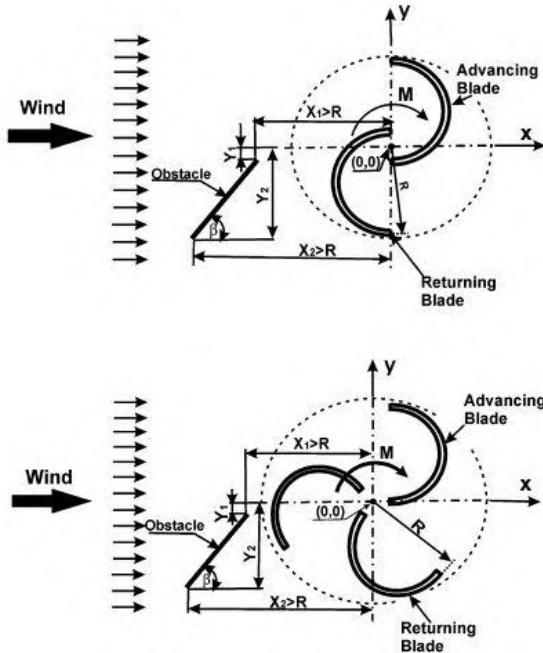
Dari grafik-grafik diatas didapatkan hasil penelitian yang telah dilakukan yaitu bahwa *coefficient of power* dari turbin Savonius meningkat sebesar 38,5% apabila diberi pengganggu dengan panjang l_1 sebesar 45cm dan l_2 sebesar 52cm dengan sudut pengganggu $\alpha = 45^\circ$ dan $\beta = 15^\circ$.

2.7.2 Membandingkan Performa Turbin Savonius Dua Sudu dan Tiga Sudu dengan Pemberian Plat Pengganggu

Penelitian mengenai pemberian plat penghalang didepan turbin Savonius juga dilakukan oleh Mohamed et al (2010) dengan membandingkan performa turbin Savonius yang memiliki dua sudu dengan turbin Savonius yang memiliki tiga sudu. Penelitian ini dilakukan menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamics*. Pada penelitian ini digunakan variasi besar sudut

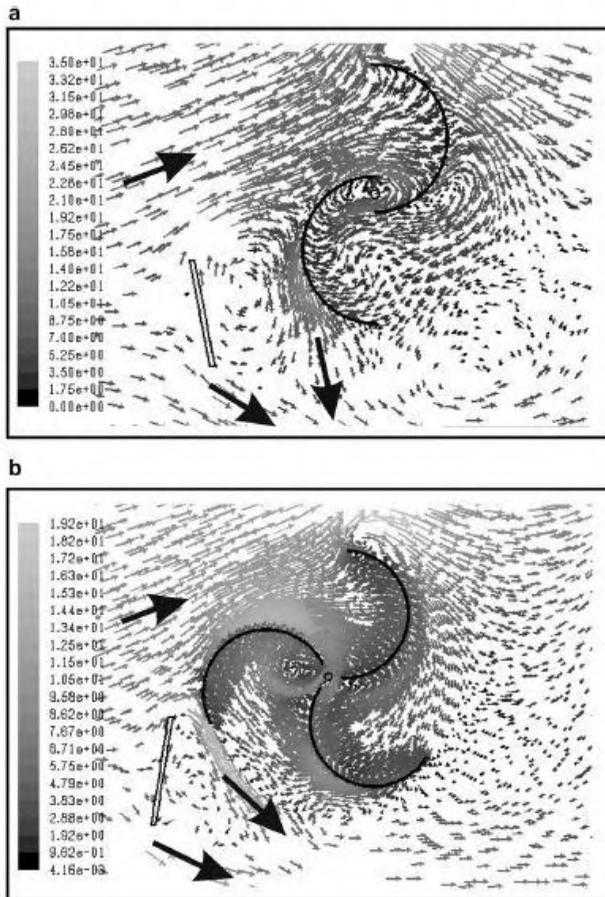
plat pengganggu (β) dan tip speed ratio (λ) dengan kecepatan angin 10m/s.

Susunan posisi plat pengganggu dan turbin savonius diletakkan seperti pada gambar 2.8 dibawah ini.



Gambar 2.8 Skema susunan plat pengganggu pada turbin Savonius dua sudu dan tiga sudu (Mohamed et al, 2010)

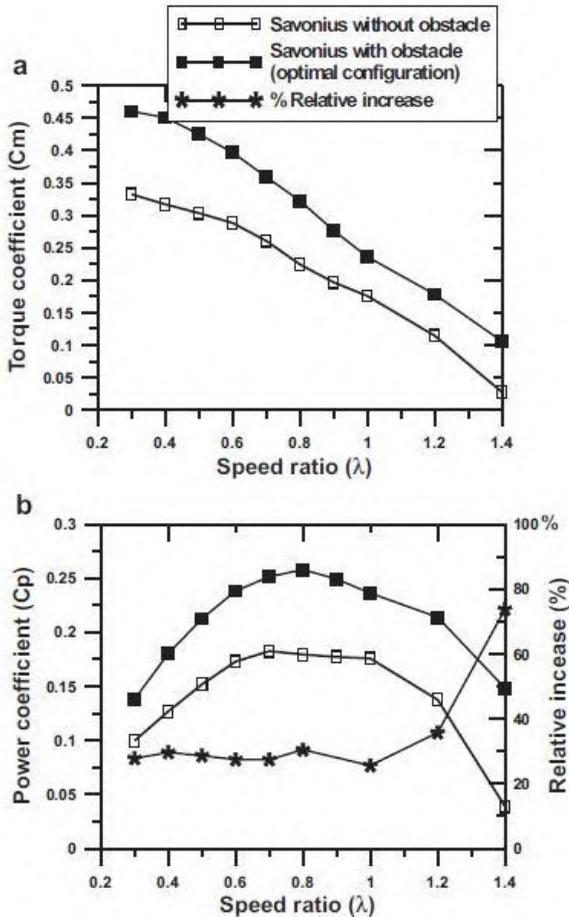
Hasil dari simulasi didapatkan bahwa jumlah sudu berpengaruh terhadap kemampuan *self starting* yang dimiliki oleh turbin Savonius. Aliran fluida pada turbin Savonius berdasarkan simulasi pada saat melakukan *self starting* dapat dilihat pada gambar 2.9.



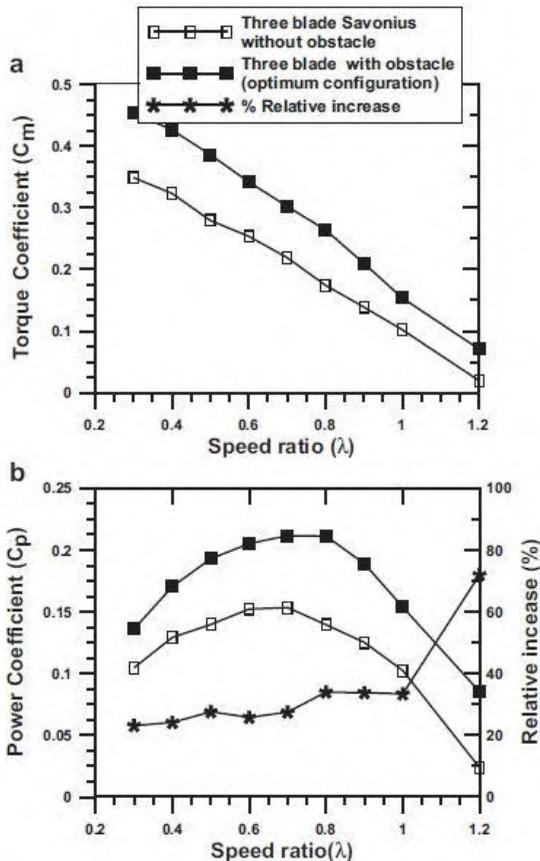
Gambar 2.9 Perbandingan struktur aliran pada saat *self starting* dengan *speed ratio* (λ) = 0,7; a: turbin dua sudu ; b: turbin tiga sudu (Mohamed et al, 2010)

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa turbin dengan tiga sudu memiliki kemampuan *self starting* yang lebih baik daripada turbin dua sudu. Selain pada kemampuan *self starting*, penambahan plat pengganggu juga berpengaruh terhadap nilai

koefisien torsi dan koefisien daya dari kedua turbin tersebut. Grafik nilai koefisien torsi dan daya dapat dilihat pada gambar 2.10 dan 2.11.



Gambar 2.10 Grafik performa turbin Savonius dengan dua sudu sebelum dan setelah diberi plat pengganggu (Mohamed et al, 2010)

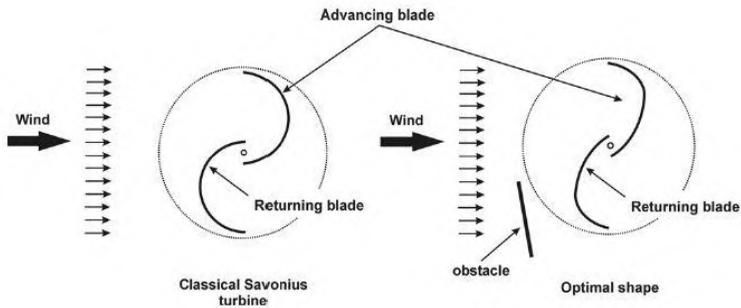


Gambar 2.11 Grafik performa turbin Savonius tiga sudu sebelum dan setelah diberi plat pengganggu (Mohamed et al, 2010)

2.7.3 Analisa Performa Pemberian Plat Pengganggu pada Turbin Savonius Menggunakan Simulasi *Computational Fluid Dynamics*

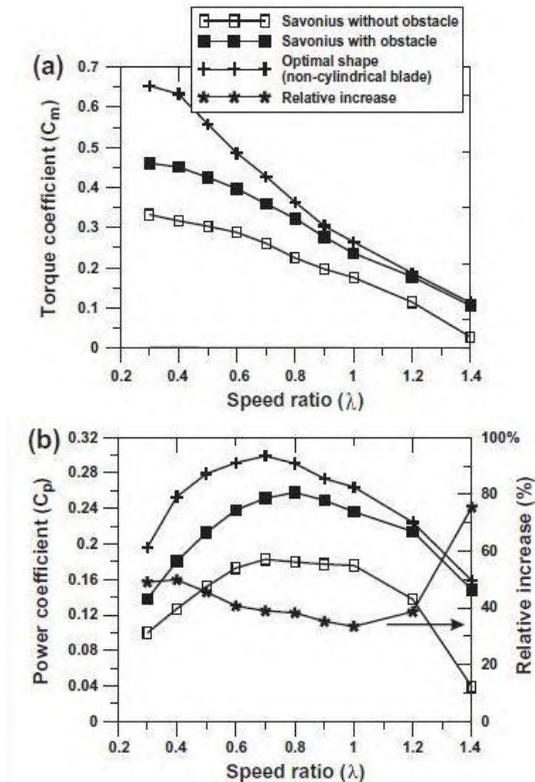
Penelitian pemberian plat pengganggu pada turbin Savonius juga dilakukan oleh **Thevenin (2010)**. Pada penelitian ini menganalisa pengaruh pemberian penghalang dan pengaruh

bentuk turbin terhadap performa turbin Savonius dengan menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamics*. Turbin Savonius yang digunakan pada penelitian ini menggunakan dua bentuk sudu yaitu sudu setengah lingkaran dan sudu bentuk optimal. Gambar skema turbin Savonius dari penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Skema turbin Savonius dengan sudu setengah lingkaran dan sudu bentuk optimal (**Thevenin, 2010**)

Pada penelitian ini akan diukur nilai koefisien torsi, koefisien daya dan koefisien torsi statis berdasarkan *speed ratio* (λ). Hasil yang diperoleh pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Grafik perbandingan koefisien torsi dan koefisien daya turbin Savonius dengan pemberian plat pengganggu menggunakan sudu klasik dan sudu bentuk optimal (Thevenin, 2010)

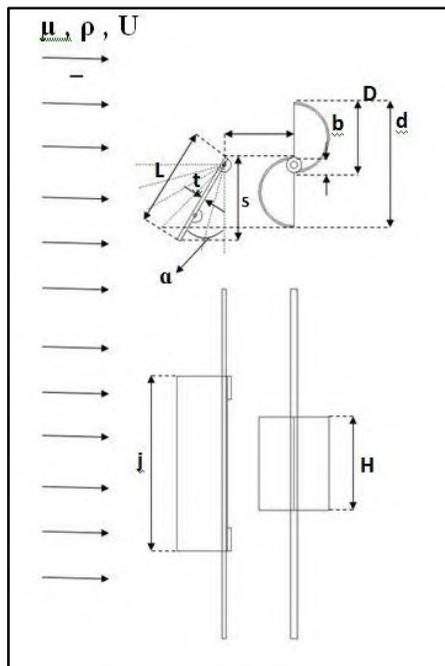
Hasil yang didapat pada penelitian ini menunjukkan bahwa turbin Savonius dengan menggunakan sudu bentuk optimal dan pemberian plat pengganggu memiliki nilai koefisien torsi, koefisien daya dan koefisien torsi statis yang lebih besar daripada turbin yang tanpa menggunakan pengganggu maupun turbin yang menggunakan sudu setengah lingkaran. Pada gambar 2.13a

menunjukkan turbin Savonius yang telah diberi penghalang terjadi kenaikan daya output sebesar 38,9% pada $\lambda = 0,7$ dan pada gambar 2.13b terjadi kenaikan torsi sebesar 75,4% pada $\lambda = 1,4$ dibandingkan tanpa pemberian plat pengganggu.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Analisa Dimensi

Pada penelitian ini diperlukan analisa dimensi untuk mengetahui parameter-parameter yang berpengaruh terhadap hasil penelitian. Parameter yang berpengaruh terhadap karakteristik aliran fluida pada penelitian ini adalah densitas fluida (ρ), viskositas fluida (μ), kecepatan fluida (U_∞), diameter sudu turbin Savonius (D), lebar plat pengganggu (L/D), tinggi turbin savonius (H), diameter overlap (b) dan sudut plat pengganggu (α). Skema penelitian dan parameter-parameter pengujian dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Skema penelitian

Dari skema percobaan pada gambar 3.1, diperkirakan bahwa nilai *coefficient of power* tergantung pada :

- ρ = massa jenis udara (N/m^2)
- μ = viskositas udara (Ns/m^2)
- U = kecepatan aliran udara (m/s)
- D = diameter sudu turbin Savonius (m)
- S = proyeksi lebar plat pada turbin savonius (m)
- L = lebar plat pengganggu (m)
- α = sudut plat pengganggu
- H = tinggi turbin Savonius
- b = diameter overlap

3.1.1. Analisa Dimensi *Coefficient of Power*

Langkah-langkah yang dilakukan untuk melakukan analisa dimensi pada nilai *coefficient of power* adalah sebagai berikut :

1. Menentukan parameter-parameter yang mempengaruhi *power*

$$P = f(\rho, \mu, U, D, L, S, H, b)$$

Jumlah parameter (n) = 9 parameter

Parameter-parameter tersebut adalah :

$P = \text{Power, J/s}$

$\rho = \text{densitas udara, kg/m}^3$

$\mu = \text{viskositas absolut udara, N.s/m}^2$

$U = \text{kecepatan aliran udara, m/s}$

$D = \text{diameter sudu turbin Savonius, m}$

$L = \text{lebar plat pengganggu, m}$

$S = \text{proyeksi lebar plat pada turbin Savonius, m}$

$H = \text{tinggi turbin Savonius, m}$

$b = \text{diameter overlap, m}$

2. Menentukan satu grup dimensi primer yang digunakan dalam menganalisa.
Dipilih M, L, t .
3. Membuat dimensi primer dari parameter-parameter yang dipilih.

Parameter	P	ρ	μ	U	D	L	S	H	b
Dimensi	$\frac{M L^2}{t^3}$	$\frac{M}{L^3}$	$\frac{M}{L t}$	$\frac{L}{t}$	L	L	L	L	L

4. Memilih parameter berulang yang jumlahnya (m) sama dengan jumlah dimensi primer (r) yang digunakan yaitu : ρ , U, D.

Jumlah parameter berulang (m) = r = 3.

5. Menentukan grup tanpa dimensi yang akan dihasilkan. Jumlah grup tanpa dimensi yang akan dihasilkan = $n - m = 9 - 3 = 6$ grup tanpa dimensi.

$$i. \quad \pi_1 = \rho^a U^b D^c P = \left(\frac{M}{L^3}\right)^a \left(\frac{L}{t}\right)^b (L)^c \left(\frac{M L^2}{t^3}\right) = (M^0 L^0 t^0)$$

dimana :

$$M : a + 1 = 0$$

$$L : -3a + b + c + 2 = 0$$

$$t : -b - 3 = 0$$

diperoleh :

$$a = -1 ; b = -3 ; c = -2$$

sehingga :

$$\pi_1 = \rho^{-1} U^{-3} D^{-2} P$$

atau

$$\pi_1 = \frac{P}{\rho U^3 D^2}$$

- ii. Dengan cara yang sama diperoleh :

$$\pi_2 = \frac{\mu}{\rho U D}$$

$$\pi_3 = \frac{L}{D}$$

$$\pi_4 = \frac{S}{D}$$

$$\pi_5 = \frac{H}{D}$$

$$\pi_6 = \frac{b}{D}$$

6. Mengecek grup tanpa dimensi yang dihasilkan dengan menggunakan dimensi primer yang lain.

$$\pi_1 = \frac{P}{\rho U^3 D^2} = \frac{F L}{t} \frac{L^4}{F t^2} \frac{t^3}{L^3} \frac{1}{L^2} = 1$$

$$\pi_2 = \frac{\mu}{\rho U D} = \frac{F t}{L^2} \frac{L^4}{F t^2} \frac{t}{L} \frac{1}{L} = 1$$

$$\pi_3 = \frac{L}{D} = L \frac{1}{L} = 1$$

$$\pi_4 = \frac{S}{D} = L \frac{1}{L} = 1$$

$$\pi_5 = \frac{H}{D} = L \frac{1}{L} = 1$$

$$\pi_6 = \frac{b}{D} = L \frac{1}{L} = 1$$

Dari analisa dimensi diatas diperoleh grup tak berdimensi sebagai berikut :

$\pi_1 = \text{Coefficient of Power}$

$\pi_2 = \text{bilangan Reynolds}$

$\pi_3 = \text{ratio lebar plat pengganggu dengan diameter sudu turbin Savonius}$

$\pi_4 = \text{ratio lebar proyeksi plat pada turbin savonius dengan diameter sudu turbin Savonius}$

$\pi_5 = \text{ratio tinggi turbin savonius dengan diameter sudu turbin Savonius}$

$\pi_6 = \text{ratio diameter overlap turbin savonius dengan diameter sudu turbin Savonius}$

Hubungan antara grup tak berdimensi sebagai berikut :

$$\pi_1 = f(\pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6)$$

$$\frac{P}{\rho U^3 D^2} = f_1\left(\frac{\mu}{\rho U D}, \frac{L}{D}, \frac{S}{D}, \frac{H}{D}, \frac{b}{D}\right)$$

Pada penelitian ini $\frac{L}{D}, \frac{H}{D}, \frac{b}{D}$ sebagai variabel tetap, sedangkan $\frac{\mu}{\rho U D}$ dan $\frac{S}{D}$ divariasikan agar dapat mengetahui seberapa besar pengaruhnya terhadap *Coefficient of Power* pada turbin angin sehingga :

$$\frac{P}{\rho U^3 D^2} = f_2\left(\frac{\mu}{\rho U D}, \frac{S}{D}\right)$$

dimana nilai $S = L \cdot \cos \alpha$ dengan nilai L yang tetap dan $d = 2D - b$ dengan b tetap maka didapatkan :

$$C_{op} = f_3(\text{Re}, \alpha)$$

3.2. Peralatan

Pada penelitian ini digunakan beberapa peralatan untuk menunjang pengambilan data eksperimen.

3.2.1. Wind Tunnel (Terowongan Angin)

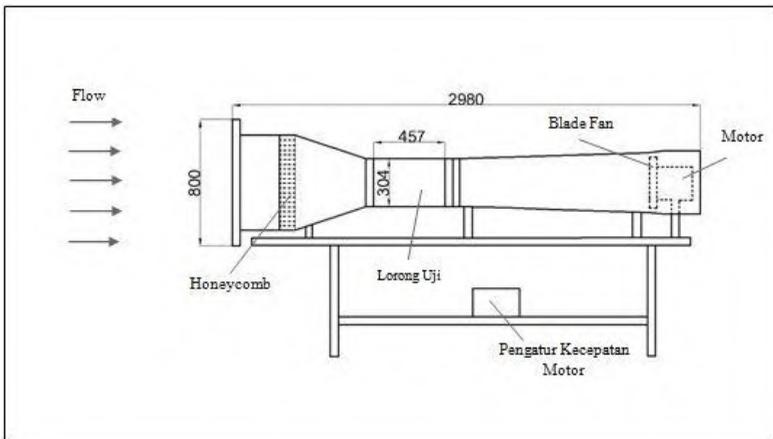
Pada penelitian ini menggunakan wind tunnel untuk menguji benda kerja dalam skala model. Hal ini dikarenakan dalam pengujian dengan ukuran yang sebenarnya membutuhkan biaya yang tidak sedikit. Pengujian dengan skala model dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi-kondisi yang mendekati kenyataan, sehingga hasil yang didapat cukup akurat dan sesuai yang diharapkan.

Spesifikasi Wind Tunnel

Jenis wind tunnel : *subsonic, open circuit wind tunnel*

Bentuk saluran uji : penampang segi 8

- Panjang : 457 mm
- Tinggi : 304 mm
- Lebar : 304 mm
- Kecepatan maksimal : 20 m/s

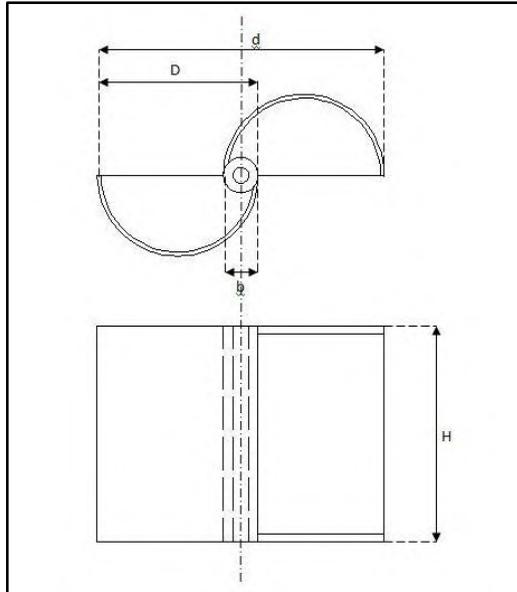


Gambar 3.2 Skema Wind Tunnel Sub Sonic

3.2.2. Benda Uji

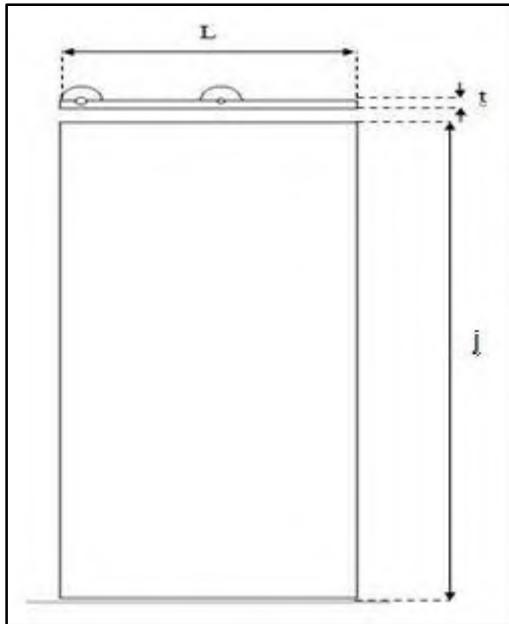
Pada penelitian ini, sebagai benda kerja digunakan turbin angin tipe Savonius dengan pengganggu berupa plat.

- a. Profil turbin angin tipe Savonius sebagai berikut :
- Diameter sudu turbin (D) : 60 mm
 - Tinggi (H) : 80 mm
 - Panjang karakteristik (d) : 106 mm
 - Overlap diameter (b) : 14 mm



Gambar 3.3 Turbin Angin Savonius

- b. Profil Plat Pengganggu sebagai berikut :
- Lebar (L) : 84,864 mm
 - Tinggi (j) : 150 mm
 - Tebal (t) : 3 mm
 - Sudut putar plat pengganggu : $0^\circ \geq \alpha \geq 90^\circ$ dengan kenaikan 5°



Gambar 3.4 Plat sebagai Pengganggu

3.2.3 Alat Ukur

Pada penelitian ini digunakan beberapa alat ukur untuk mendapatkan nilai putaran (rpm) dan torsi (N.m) yang dihasilkan oleh turbin Savonius.

a. Tachometer

Tachometer merupakan alat ukur digital yang digunakan untuk mengukur kecepatan rotasi dari sebuah objek. Tachometer yang digunakan pada penelitian ini yaitu ***Economical Non-Contact Pocket Optical Tachometer OMEGA seri HHT12*** dengan akurasi pembacaan 0.01% atau ± 1 digit.



Gambar 3.5 Tachometer OMEGA seri HHT12

b. Torque meter

Torque meter merupakan alat ukur digital yang berfungsi untuk mengukur torsi dari suatu objek. Torque meter yang digunakan pada penelitian ini yaitu **Torque meter LUTRON model : TQ-8800** dengan *high resolution* 0,1 Newton-cm.



Gambar 3.6 Torque meter LUTRON model : TQ-8800

c. *Pitot Static Tube*

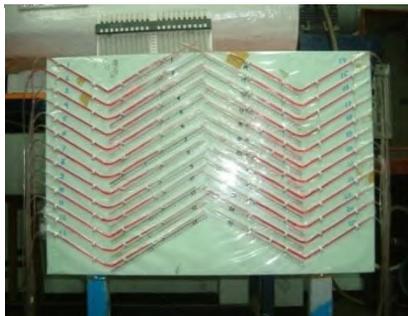
Pitot static tube merupakan alat ukur yang berfungsi untuk mengukur tekanan dinamis aliran yang digunakan untuk menghitung kecepatan aliran udara pada wind tunnel. *Pitot static tube* yang digunakan pada penelitian ini seperti yang terlihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 *Pitot Static Tube*

d. *Inclined Manometer*

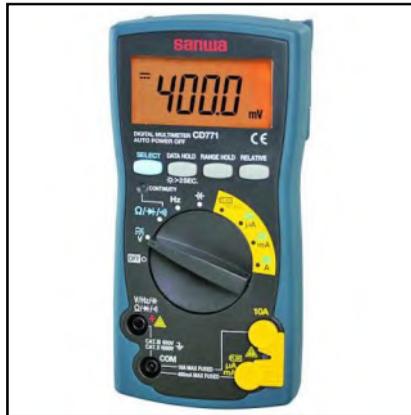
Inclined Manometer merupakan alat ukur yang berfungsi untuk mengukur tekanan udara di dalam ruang tertutup. Manometer yang digunakan pada penelitian ini seperti yang terlihat pada gambar 3.8 dengan kemiringan 15° . Fluida kerja yang digunakan yaitu *red oil* dengan *specific gravity* 0,827.



Gambar 3.8 *Inclined Manometer*

e. Multi Meter

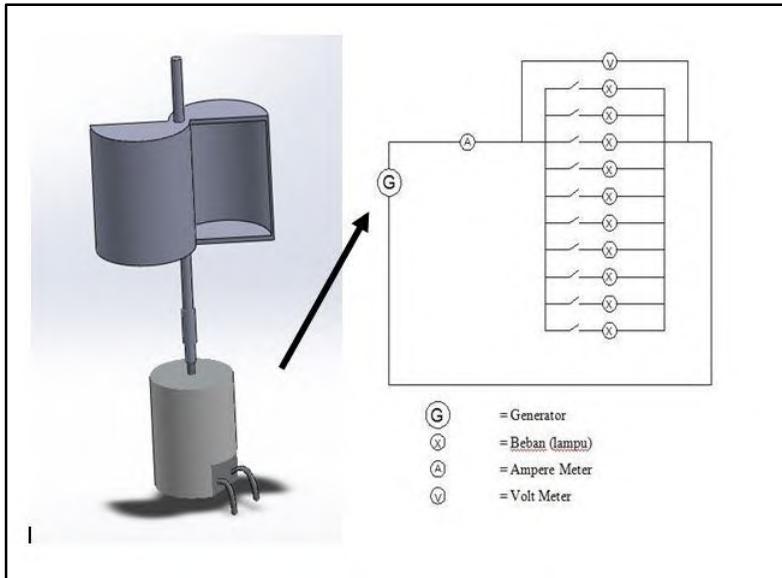
Multi meter merupakan alat ukur digital yang berfungsi untuk mengukur tegangan, hambatan, dan arus listrik. Multi meter yang digunakan pada penelitian ini yaitu **Sanwa Multimeter Digital CD-771** dengan ketelitian 0.1% atau ± 1 digit.



Gambar 3.9 Sanwa Multimeter Digital CD-771

3.3. Metode Pengukuran Daya

Pada penelitian ini untuk mengukur daya riil yang dihasilkan turbin Savonius digunakan generator listrik. Poros turbin Savonius akan dihubungkan dengan poros generator listrik menggunakan *flexible coupling*. Output dari generator listrik akan diteruskan untuk menghidupkan beban berupa lampu. Banyaknya beban (lampu) dapat diatur menggunakan saklar untuk mendapatkan nilai daya terbesar. Pada rangkaian beban diukur nilai tegangan dan arus listrik yang akan digunakan dalam perhitungan untuk mendapatkan nilai daya riil. Skema generator dan rangkaian beban dapat dilihat pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Rangkaian Generator dan Beban

3.4. Prosedur Penelitian

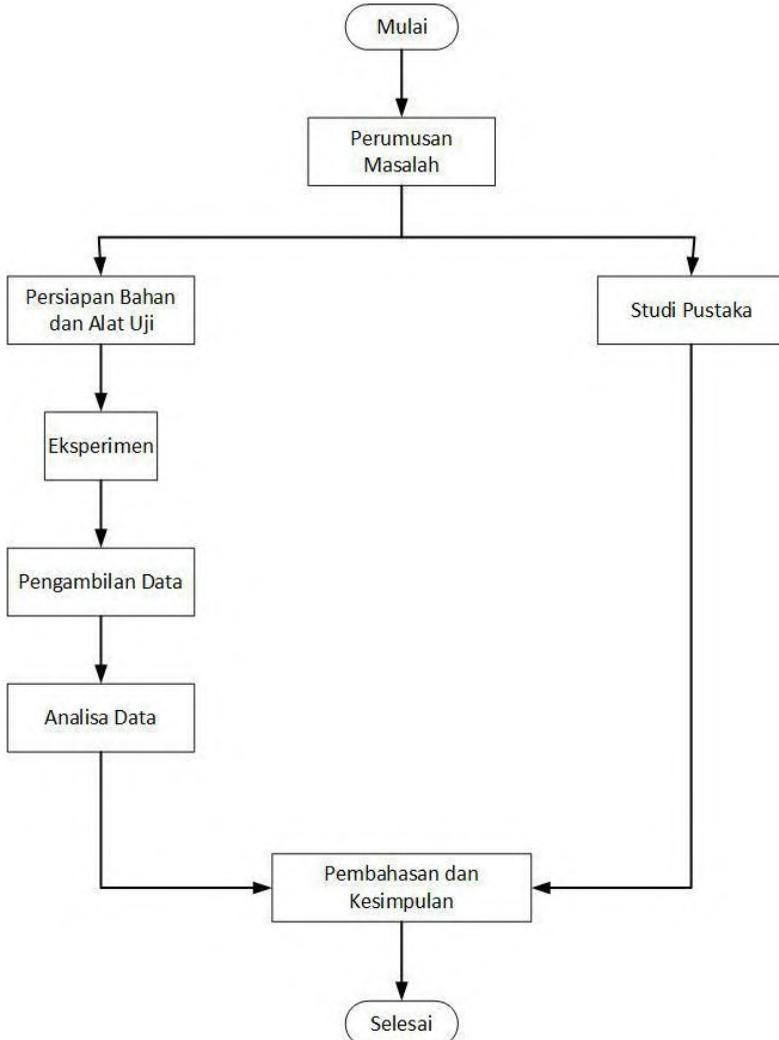
Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam pengambilan data pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Perencanaan peralatan yang akan digunakan.
2. Pemasangan benda uji pada *test suction*.
3. Menyalakan *fan* dan mengatur besar frekuensi dengan menggunakan *inverter* sehingga didapatkan nilai kecepatan dalam *test section* sesuai dengan yang diharapkan.
4. Melakukan pengukuran kecepatan aliran udara dengan menggunakan static pitot tube dan manometer sehingga diperoleh bilangan Reynolds 6×10^4 .
5. Melakukan pengukuran putaran poros turbin angin dengan menggunakan Tachometer.
6. Melakukan pengukuran torsi statis dengan menggunakan Torque meter.
7. Sambungkan poros turbin savonius dengan generator listrik.

8. Melakukan pengukuran tegangan dan hambatan listrik pada rangkaian beban menggunakan Multi meter.
9. Mematikan *fan*.
10. Memasang plat pengganggu di depan *returning blade* dengan sudut 0° terhadap arah aliran fluida.
11. Mengulangi langkah 3 sampai 10 dengan merubah sudut plat pengganggu sebesar 5° , 10° , 15° , 20° , 25° , 30° , 35° , 40° , 45° , 50° , 55° , 60° , 65° , 70° , 75° , 80° , 85° , dan 90° .
12. Mengulangi langkah 3 sampai 11 dengan merubah bilangan Reynolds menjadi $7,5 \times 10^4$ dan 9×10^4
13. Mematikan *fan*.
14. Mengolah semua data yang diperoleh dan membuat grafik *Coefficient of Power (CoP)*, torsi statis dan putaran terhadap sudut plat pengganggu.

3.5. Flowchart Penelitian

Urutan langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini dapat digambarkan dalam diagram alir sebagai berikut :



Gambar 3.11 Flowchart penelitian

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian yang telah dilakukan, didapatkan beberapa data yang menunjukkan pengaruh pemberian plat pengganggu didepan turbin Savonius terhadap performa turbin. Data yang didapatkan terdiri atas nilai putaran, torsi statis, dan *coefficient of power* yang dihasilkan oleh turbin Savonius dengan dan tanpa pemberian plat pengganggu di depan turbin. Data tersebut berdasarkan hasil penelitian dengan variasi nilai *Reynolds Number* aliran udara yang melewati turbin Savonius dan sudut plat pengganggu terhadap bidang tegak lurus aliran udara.

4.1 Contoh Perhitungan

Pada saat pengambilan data pada penelitian ini digunakan udara sebagai fluida kerja dengan mengasumsikan alirannya steady dan incompressible dengan nilai sebagai berikut:

1. Tekanan absolute udara dalam keadaan standar (P_{std}) = 1,01325 N/m²
2. Temperatur udara dalam keadaan standar (T_{std}) = 288,2 K
3. Massa jenis udara dalam keadaan standar (ρ_{std}) = 1,225 kg/m³
4. Panjang karakteristik turbin Savonius (d) = 106 mm

Data standar udara diatas akan digunakan dalam perhitungan pengambilan data pada penelitian ini. Adapun tahapan-tahapan perhitungan yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

4.1.1 Perhitungan Bilangan Reynolds

- **Massa Jenis Udara (ρ)**

Untuk mendapatkan nilai massa jenis udara pada saat pengujian digunakan persamaan Boyle-Gay Lussac mengenai pemuaiian gas. Dari persamaan tersebut didapatkan bahwa :

$$\frac{P_{std} \times V_{std}}{T_{std}} = \frac{P_{uji} \times V_{uji}}{T_{uji}} \quad (4.1)$$

Karena nilai $V = \frac{m}{\rho}$, maka persamaan 4.1 berubah menjadi :

$$\frac{P_{\text{std}} \times m_{\text{std}}}{T_{\text{std}} \times \rho_{\text{std}}} = \frac{P_{\text{uji}} \times m_{\text{uji}}}{T_{\text{uji}} \times \rho_{\text{uji}}} \quad (4.2)$$

dimana :

- m_{std} = massa udara pada keadaan standar
- m_{uji} = massa udara pada saat pengujian
- P_{uji} = tekanan udara pada saat pengujian
- T_{uji} = temperature ruangan pada saat pengujian (25°C = 298 K) dan diasumsikan konstan pada saat pengujian
- ρ_{std} = massa jenis udara pada saat pengujian

Bila pengujian dilakukan dalam keadaan standard an pada ketinggian yang sama, maka berlaku sebagai berikut:

$$P_{\text{std}} = P_{\text{uji}} \quad (4.3)$$

Dan karena massa udara dalam keadaan standar dan pada saat pengujian memiliki nilai yang sama, maka:

$$m_{\text{std}} = m_{\text{uji}} \quad (4.4)$$

Dari batasan diatas, maka persamaannya dapat ditulis sebagai berikut :

$$\rho_{\text{uji}} = \frac{T_{\text{std}} \times \rho_{\text{std}}}{T_{\text{uji}}} \quad (4.5)$$

$$\rho_{\text{uji}} = \frac{288,2 \text{ K} \times 1,225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{298 \text{ K}} = 1,185 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

- **Viskositas Absolut Udara (μ)**

Untuk mendapatkan nilai viskositas absolut udara pada saat pengujian digunakan persamaan Sutherland. Dari persamaan tersebut didapatkan bahwa :

$$\mu_{uji} = \frac{b \times (T_2)^{0,5}}{1 + \frac{S}{T_2}} \quad (4.6)$$

dimana :

$$b = 1,458 \times 10^{-6} \frac{Kg}{m.s.K^{0,5}}$$

$$S = 110,4 K$$

Pengujian dilakukan dengan temperatur ruangan $25^\circ C = 298 K$ maka perhitungannya sebagai berikut :

$$\mu_{uji} = \frac{1,458 \times 10^{-6} \frac{kg}{m.s.K^{0,5}} \times (298K)^{0,5}}{1 + \frac{110,4 K}{298 K}} = 1,837 \times 10^{-5} \frac{kg}{m.s}$$

- **Kecepatan Freestream Udara (U_∞)**

Dengan nilai massa jenis dan viskositas absolut udara yang telah didapatkan dalam perhitungan sebelumnya, nilai *Reynolds Number* = 75.000 dan nilai panjang karakteristik turbin Savonius sebesar 0,106 m maka dapat diketahui nilai kecepatan freestream udara dengan perhitungan seperti dibawah ini :

$$U_\infty = \frac{Re \times \mu}{\rho_{uji} \times d} \quad (4.7)$$

$$U_\infty = \frac{75000 \times 1,837 \times 10^{-5} \frac{kg}{m.s}}{1,185 \frac{kg}{m^3} \times 0,106 m}$$

$$U_\infty = 10,968 m/s$$

- **Kenaikan Ketinggian Manometer**

Pada penelitian ini digunakan static pitot tube dan manometer untuk mendapatkan tekanan dinamis aliran udara yang akan dipakai untuk menghitung kecepatan freestream aliran udara. Manometer yang digunakan pada penelitian ini menggunakan fluida kerja *red oil* dengan *specific gravity* 0,827 dengan kemiringan 15° . Untuk mendapatkan aliran udara dengan

kecepatan yang diinginkan dilakukan perhitungan kenaikan ketinggian manometer dengan menggunakan hukum Bernoulli, seperti dibawah ini:

$$\frac{P_{\text{statis}}}{\rho} + \frac{V_{\text{statis}}^2}{2} + gZ_{\text{statis}} = \frac{P_{\text{stagnasi}}}{\rho} + \frac{V_{\text{stagnasi}}^2}{2} + gZ_{\text{stagnasi}} \quad (4.8)$$

Karena ketinggian titik stagnasi dan statis dianggap sama dan kecepatan stagnasi sama dengan nol, maka persamaan diatas akan berubah menjadi seperti berikut:

$$\frac{P_{\text{statis}}}{\rho} + \frac{V_{\text{statis}}^2}{2} = \frac{P_{\text{stagnasi}}}{\rho} \quad (4.9)$$

$$V_{\text{statis}} = \sqrt{2 \times \frac{(P_{\text{stagnasi}} - P_{\text{statis}})}{\rho}} \quad (4.10)$$

$$U_{\infty} = \sqrt{2 \times \frac{(P_{\text{stagnasi}} - P_{\text{statis}})}{\rho}} \quad (4.11)$$

Nilai $P_{\text{stagnasi}} - P_{\text{statis}}$ pada manometer ditunjukkan dengan kenaikan ketinggian manometer, maka persamaan diatas dapat ditulis sebagai berikut:

$$U_{\infty} = \sqrt{2 \times \frac{(\rho_{\text{red oil}} \times g \times h)}{\rho}} \quad (4.12)$$

$$U_{\infty} = \sqrt{2 \times \frac{(SG_{\text{red oil}} \times \rho_{\text{air}} \times g \times h)}{\rho}} \quad (4.13)$$

$$h = \frac{U_{\infty} \times \rho}{2 \times SG_{\text{red oil}} \times \rho_{\text{air}} \times g} \quad (4.14)$$

$$h = \frac{10,968 \text{ m/s} \times 1,185 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{2 \times 0,827 \times 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h = 8,879 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Manometer yang digunakan pada penelitian ini memiliki sudut 15° sehingga nilai kenaikan ketinggian yang terbaca pada manometer sebagai berikut:

$$X = \frac{h}{2 \times \sin 15^\circ} \quad (4.15)$$

$$X = \frac{8,879 \times 10^{-3} \text{ m}}{2 \times \sin 15^\circ}$$

$$x = 17,153 \text{ mm}$$

4.1.2 Perhitungan *Coefficient of Power* (CoP)

Sebagai contoh dalam melakukan perhitungan *coefficient of power* (CoP), digunakan data-data yang didapat dalam pengujian turbin Savonius dengan nilai *Reynolds Number* sebesar 75.000 tanpa menggunakan plat pengganggu. Data yang digunakan dalam pengujian tersebut adalah sebagai berikut :

- Diameter sudu turbin Savonius (D) : 60 mm
- Tinggi turbin Savonius (H) : 80 mm
- Diameter overlap (b) : 14 mm
- Kecepatan freestream (U_∞) : 10,968 m/s

Dari data diatas maka daya input yang mengenai turbin dapat dihitung menggunakan persamaan energi kinetik sebagai berikut:

$$P_{in} = \frac{1}{2} \times m \times V^2 \quad (4.16)$$

$$P_{in} = \frac{1}{2} \times (\rho \times A \times U_\infty) \times U_\infty^2 \quad (4.17)$$

$$P_{in} = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times U_\infty^3 \quad (4.18)$$

Nilai A merupakan luas sapuan turbin yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$A = d \times H = ((2 \times D) - b) \times H \quad (4.19)$$

Dalam pengujian yang telah dilakukan, turbin Savonius dihubungkan dengan generator listrik dan diberi beban sehingga menghasilkan nilai tegangan dan arus listrik yang diukur

menggunakan multimeter. Data yang didapatkan dari pengujian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

Tegangan listrik (V)	: 1,768 Volt
Arus listrik (I)	: 10,24 mA
Putaran dengan beban (n_b)	: 648 rpm

Dari data diatas maka daya output yang dihasilkan oleh turbin Savonius dapat dihitung dengan mengasumsikan bahwa daya output turbin Savonius merupakan daya output yang dihasilkan oleh generator. Daya output tersebut dapat dihitung sebagai berikut:

$$P_{out} = V \times I \quad (4.20)$$

$$P_{out} = 1,768 V \times 10,24 mA$$

$$P_{out} = 18,104 mW$$

Coefficient of power merupakan perbandingan antara daya output yang dihasilkan oleh turbin Savonius terhadap daya input yang menggerakkan turbin. Sehingga nilai *coefficient of power* yang dihasilkan dapat dihitung sebagai berikut:

$$CoP = \frac{P_g}{P_{in}} \quad (4.21)$$

$$CoP = \frac{V \times I}{\frac{1}{2} \times \rho \times A \times U_{\infty}^3} \quad (4.22)$$

$$CoP = \frac{V \times I}{\frac{1}{2} \times \rho \times ((2 \times D) - b) \times H \times U_{\infty}^3} \quad (4.23)$$

$$CoP = \frac{1,768 \text{ Volt} \times 10,24 \text{ mA}}{\frac{1}{2} \times 1,185 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times ((2 \times 0,06 \text{ m}) - 0,014 \text{ m}) \times 0,08 \text{ m} \times (10,968 \text{ m/s})^3}$$

$$CoP = 0,0027 = 0,27\%$$

4.1.3 Perhitungan *Tip Speed Ratio* (λ)

Tip speed ratio merupakan perbandingan kecepatan diujung turbin terhadap kecepatan aliran udara yang menggerakkan turbin. Pada perhitungan tip speed ratio ini digunakan nilai putaran turbin Savonius setelah dihubungkan dengan generator dan diberi beban. Perhitungan tip speed ratio dapat dilakukan dengan perumusan sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{\omega \times R}{U_{\infty}} \quad (4.24)$$

$$\lambda = \frac{2 \times \pi \times n_b \times R}{60 \times U_{\infty}} \quad (4.25)$$

$$\lambda = \frac{2 \times 3,14 \times 648 \text{ rpm} \times 0,053 \text{ m}}{60 \times 10,968 \text{ m/s}}$$

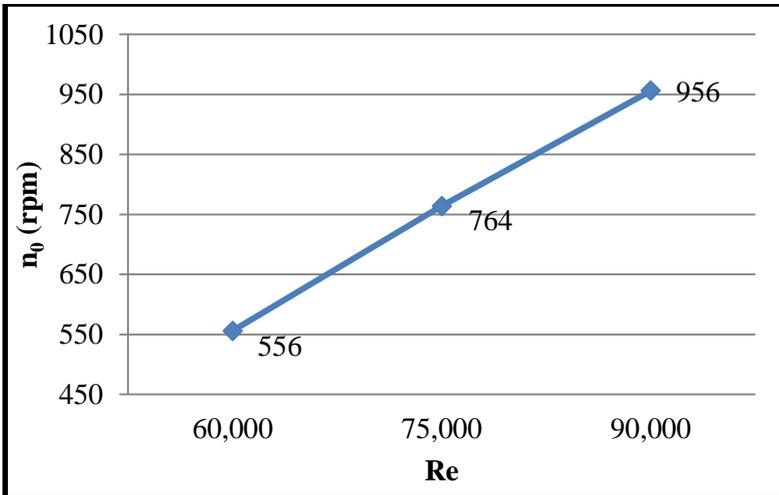
$$\lambda = 0,327$$

4.2 Analisa Performa Turbin Savonius Tanpa Plat Pengganggu

Pada bagian ini akan dilakukan analisa performa turbin Savonius tanpa menggunakan plat pengganggu. Analisa yang dilakukan meliputi pengaruh variasi *Reynolds Number* terhadap nilai putaran, torsi statis, dan *coefficient of power* yang dihasilkan oleh turbin Savonius. Data yang telah diperoleh dalam pengujian akan disajikan dalam bentuk grafik putaran terhadap *Reynolds Number*, grafik torsi statis terhadap *Reynolds Number*, grafik *coefficient of power* terhadap *Reynolds Number* dan grafik *coefficient of power* terhadap nilai *tip speed ratio*.

4.2.1 Analisa Nilai Putaran sebagai Fungsi *Reynolds Number* pada Turbin Savonius Tanpa Plat Pengganggu

Pada sub bagian ini menjelaskan tentang nilai putaran yang dihasilkan turbin Savonius dengan variasi *Reynolds Number*. Nilai putaran yang diukur pada analisa ini yaitu nilai putaran yang dihasilkan turbin Savonius tanpa pemberian beban berupa generator. Pengujian dilakukan pada *Reynolds Number* 60.000, 75.000 dan 90.000 menggunakan *tachometer digital*. Data yang didapatkan dapat dilihat pada gambar 4.1.

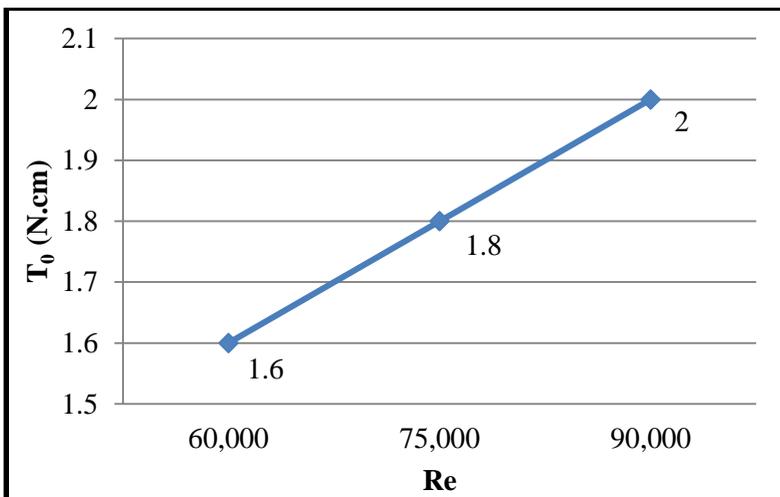


Gambar 4.1 Grafik putaran turbin Savonius tanpa plat pengganggu (n_0) sebagai fungsi Bilangan Reynolds (Re)

Gambar 4.1 menunjukkan nilai putaran yang dihasilkan turbin Savonius sebagai fungsi dari Reynolds Number tanpa pemberian plat pengganggu didepan turbin Savonius. Dari gambar 4.1 dapat dilihat bahwa nilai putaran yang dihasilkan turbin Savonius selalu naik seiring dengan naiknya Reynolds Number. Nilai putaran terendah yang dihasilkan berada pada Reynolds Number 60.000 dan yang tertinggi berada pada Reynolds Number 90.000. Hal ini disebabkan karena dengan naiknya Reynolds Number maka kecepatan aliran fluida juga akan meningkat. Kecepatan aliran fluida berpengaruh terhadap gaya drag yang diterima kedua *blade* turbin Savonius. Semakin besar kecepatan aliran fluida maka gaya drag yang diterima kedua *blade* akan semakin besar. Selisih gaya drag yang diterima *advancing* dan *returning blade* juga akan semakin besar. Dengan meningkatnya selisih gaya drag yang diterima kedua *blade* maka akan berpengaruh terhadap putaran turbin Savonius. Semakin besar selisih gaya drag yang diterima *blade* turbin maka semakin besar pula nilai putaran yang dihasilkan turbin Savonius.

4.2.2 Analisa Nilai Torsi Statis sebagai Fungsi *Reynolds Number* pada Turbin Savonius Tanpa Plat Pengganggu

Analisa ini menjelaskan tentang nilai torsi statis yang dihasilkan turbin Savonius dengan variasi *Reynolds Number*. Nilai torsi statis yang diukur pada analisa ini yaitu nilai torsi statis pada turbin Savonius dengan sudut blade 0° terhadap bidang tegak lurus aliran udara. Pengujian dilakukan pada *Reynolds Number* 60.000, 75.000 dan 90.000 menggunakan torsi meter digital. Data yang didapatkan dapat dilihat pada gambar 4.2.



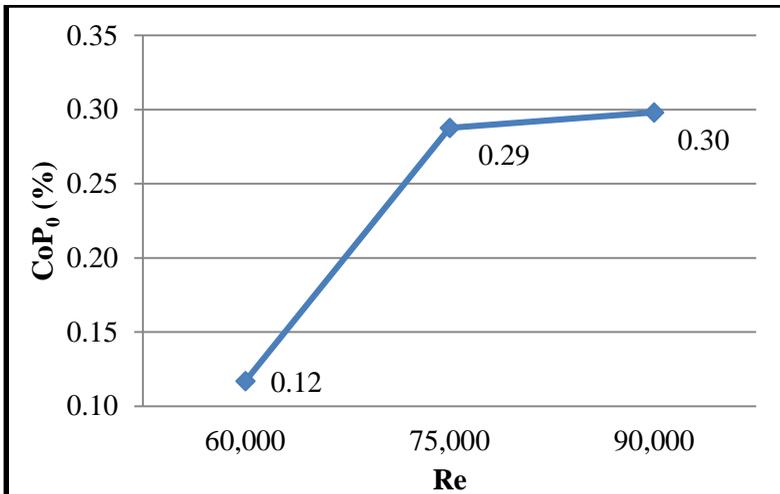
Gambar 4.2 Grafik torsi statis turbin Savonius tanpa plat pengganggu (T_0) sebagai fungsi Bilangan Reynolds (Re)

Gambar 4.2 menunjukkan nilai torsi statis yang dihasilkan turbin Savonius sebagai fungsi *Reynolds Number* tanpa pemberian plat pengganggu didepan turbin Savonius. Pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa nilai torsi statis yang dihasilkan oleh turbin Savonius pada posisi tegak lurus aliran udara mengalami kenaikan seiring dengan naiknya *Reynolds Number*. Hal ini diakibatkan dengan naiknya *Reynolds Number* maka kecepatan aliran udara juga akan semakin meningkat. Kecepatan

aliran udara berpengaruh terhadap nilai gaya drag yang diterima *advancing* dan *returning blade* turbin Savonius. Gaya drag yang diterima oleh *blade* turbin Savonius dipengaruhi oleh nilai koefisien drag, massa jenis udara, luas penampang, dan kecepatan aliran udara. Jika nilai koefisien drag, massa jenis udara dan luas penampang tetap maka perubahan nilai kecepatan fluida akan berpengaruh terhadap perubahan gaya drag yang diterima *blade*. Semakin besar kecepatan aliran udara maka gaya drag yang diterima *blade* juga akan semakin besar. Gaya drag yang timbul pada *blade* turbin Savonius berpusat di tengah *blade* turbin Savonius dan memiliki jari-jari yang bertumpu pada poros turbin yang menyebabkan adanya torsi statis yang bekerja pada turbin. Perbedaan bentuk penampang antara *advancing* dan *returning blade* turbin Savonius menyebabkan perbedaan gaya drag pada kedua *blade*. Semakin besar selisih gaya drag yang mengenai kedua *blade* turbin Savonius maka torsi statis yang ditimbulkan akan semakin besar pula.

4.2.3 Analisa Nilai *Coefficient of Power* sebagai Fungsi *Reynolds Number* pada Turbin Savonius Tanpa Plat Pengganggu

Pada penelitian ini, daya output yang dihasilkan turbin Savonius diasumsikan sebagai daya output yang dihasilkan oleh generator. Turbin Savonius dihubungkan dengan generator listrik yang telah terhubung dengan beban. Dari pengukuran tersebut didapatkan nilai tegangan dan arus listrik yang dihasilkan generator. Nilai tegangan dan dan arus listrik yang telah didapatkan dihitung seperti yang dilakukan pada contoh perhitungan sehingga didapatkan nilai *coefficient of power* dari turbin Savonius. Hasil perhitungan *coefficient of power* dapat dilihat pada grafik yang terdapat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik nilai *coefficient of power* turbin Savonius tanpa plat pengganggu (CoP_0) sebagai fungsi Bilangan Reynolds (Re)

Pada gambar 4.3 menunjukkan nilai *coefficient of power* yang dihasilkan oleh turbin Savonius sebagai fungsi *Reynolds Number* tanpa pemberian plat pengganggu di depan turbin. Pada gambar 4.3 terlihat bahwa pada *Reynolds Number* 60.000 nilai *coefficient of power* yang dihasilkan turbin Savonius paling kecil. Hal ini menunjukkan pada kecepatan aliran udara rendah, efisiensi dari turbin Savonius ini juga sangat rendah sehingga daya output yang dihasilkan Turbin Savonius sangat rendah dibandingkan daya input yang mengenai turbin. Pada *Reynolds Number* 75.000 dan 90.000 memiliki nilai *coefficient of power* yang cenderung sama. *Coefficient of power* merupakan perbandingan antara daya output yang dihasilkan turbin Savonius dan daya input aliran udara yang bekerja pada turbin. Pada *Reynolds Number* 75.000 dan 90.000, turbin Savonius sebenarnya menghasilkan nilai daya yang berbeda seperti ditunjukkan pada tabel 4.1. Pada *Reynolds Number* 75.000 turbin Savonius menghasilkan daya output yang lebih kecil daripada jika

menggunakan *Reynolds Number* 90.000. Nilai daya input dipengaruhi oleh kecepatan aliran udara sehingga jika menggunakan *Reynolds Number* 75.000 memiliki daya input yang lebih kecil daripada jika menggunakan *Reynolds Number* 90.000. Dengan didapatkan hasil *coefficient of power* yang relatif sama, maka hal ini menunjukkan pada *Reynolds Number* tersebut turbin bekerja dengan tingkat efisiensi yang relatif sama.

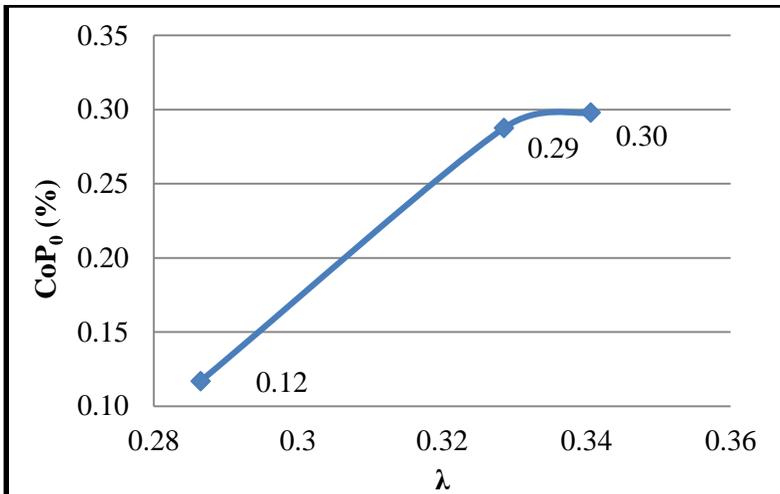
Tabel 4.1 Nilai daya dan *coefficient of power* yang dihasilkan turbin Savonius tanpa menggunakan plat pengganggu

Reynolds Number	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya output (W)	Daya input (W)	CoP (%)
60.000	1,71	2,31	0,0040	3,382	0,12
75.000	1,82	10,44	0,0190	6,606	0,29
90.000	1,88	18,10	0,0332	11,416	0,30

Pada turbin Savonius dengan *Reynolds Number* 60.000 memiliki nilai *coefficient of power* yang lebih rendah daripada *Reynolds Number* 75.000 dan 90.000. Hal ini menunjukkan bahwa Pada *Reynolds Number* 60.000 turbin Savonius memiliki efisiensi yang lebih rendah daripada dengan *Reynolds Number* 75.000 dan 90.000.

4.2.4 Analisa Nilai *Coefficient of Power* sebagai Fungsi *Tip Speed Ratio* pada Turbin Savonius Tanpa Plat Pengganggu

Tip speed ratio merupakan perbandingan kecepatan ujung *blade* turbin Savonius terhadap kecepatan aliran udara. Nilai kecepatan ujung *blade* didapatkan dari hasil perkalian antara nilai kecepatan sudut turbin dan jari-jari dari tengah poros turbin hingga ujung *blade*. Nilai kecepatan sudut turbin diperoleh dari putaran turbin setelah dihubungkan dengan generator listrik dan beban. Grafik *coefficient of power* sebagai fungsi dari *tip speed ratio* pada turbin Savonius tanpa plat pengganggu dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik nilai *coefficient of power* (CoP_0) turbin Savonius tanpa plat pengganggu sebagai fungsi *Tip Speed Ratio* (λ)

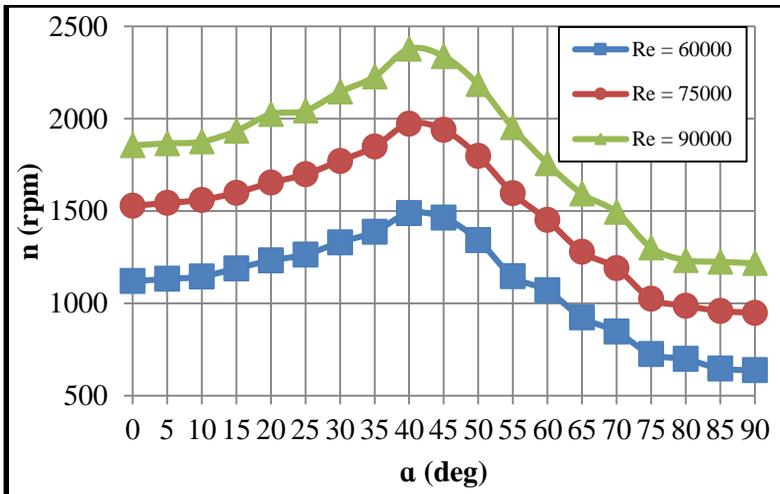
Pada gambar 4.4 terlihat bahwa pada *Reynolds Number* 60.000 turbin Savonius memiliki nilai *tip speed ratio* sebesar 0,286 dan *coefficient of power* paling rendah dibandingkan pada *Reynolds Number* 75.000 dan 90.000. Dengan bertambahnya *Reynolds Number* dari 60.000 ke 75.000 terjadi kenaikan nilai yang signifikan baik itu *coefficient of power* maupun *tip speed ratio*. Tetapi pada *Reynolds Number* 75.000 dan 90.000 terjadi kenaikan nilai *tip speed ratio* dan *coefficient of power*. Kenaikan *tip speed ratio* pada *Reynolds Number* yang berbeda tersebut diakibatkan oleh berubahnya nilai putaran yang dihasilkan turbin Savonius. Nilai putaran yang dihasilkan selalu naik seiring dengan kenaikan *Reynolds Number*. Pada grafik tersebut menunjukkan bahwa kenaikan *tip speed ratio* pada *Reynolds Number* 60.000 menuju 75.000 memiliki nilai yang lebih besar dari pada kenaikan *tip speed ratio* pada *Reynolds Number* 75.000 menuju 90.000. Sehingga dapat dilihat kenaikan *Reynolds Number* tidak sebanding dengan kenaikan *tip speed ratio*. Hal itu

diakibatkan oleh efisiensi yang dimiliki turbin Savonius. Pada turbin Savonius tanpa pemberian plat pengganggu nilai *coefficient of power* tertinggi terdapat diantara *tip speed ratio* 0,328 dan 0,340 atau antara *Reynolds Number* 75.000 dan 90.000. Perbedaan nilai *coefficient of power* yang dihasilkan turbin Savonius tersebut disebabkan oleh efisiensi yang dimiliki oleh turbin Savonius. Dengan demikian maka nilai efisiensi yang dimiliki turbin Savonius juga bergantung pada putaran kerja turbin Savonius tersebut.

4.3 Analisa Nilai Putaran yang Dihasilkan Turbin Savonius Sebagai Fungsi Sudut Plat Pengganggu

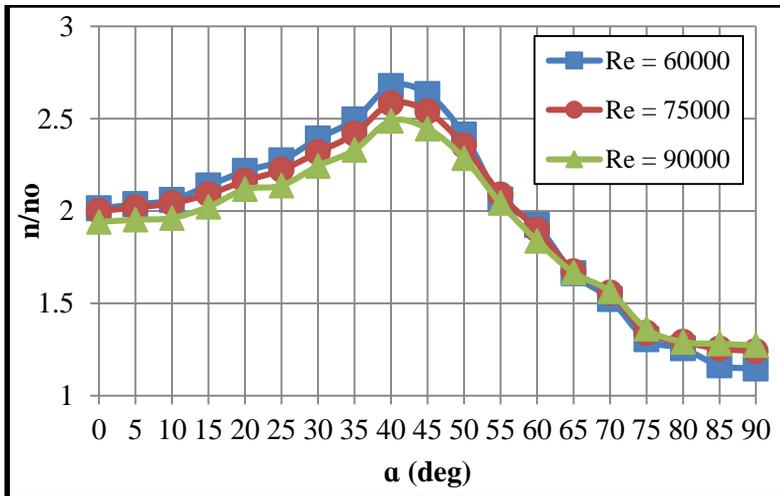
Berdasarkan data yang didapatkan dari hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat dianalisis nilai putaran yang dihasilkan turbin Savonius sebagai salah satu parameter performa turbin. Pada pengujian tersebut dilakukan pemberian plat pengganggu didepan *returning blade* turbin Savonius dengan variasi sudut plat pengganggu terhadap bidang tegak lurus aliran udara. Pengambilan data dilakukan dengan aliran udara dengan nilai *Reynolds Number* 60.000, 75.000 dan 90.000. Data yang telah didapatkan diolah menjadi sebuah grafik yang dapat dilihat pada gambar 4.5.

Pada gambar 4.5 ditunjukkan grafik nilai putaran yang dihasilkan turbin Savonius ketika diletakkan plat pengganggu di depan *returning blade* dengan tiga nilai *Reynolds Number* aliran udara yaitu 60.000, 75.000 dan 90.000. Dalam grafik tersebut terlihat bahwa pada *Reynolds Number* 90.000 untuk tiap variasi sudut plat pengganggu yang sama memiliki nilai putaran turbin yang lebih besar daripada dengan *Reynolds Number* 60.000 dan 75.000. Hal tersebut sama seperti yang didapatkan pada pengujian turbin Savonius tanpa pemberian plat pengganggu. Seperti pada turbin Savonius tanpa pemberian plat pengganggu bahwa dengan peningkatan nilai *Reynolds Number* maka kecepatan aliran udara juga akan meningkat.



Gambar 4.5 Grafik nilai putaran yang dihasilkan turbin Savonius sebagai fungsi sudut plat pengganggu

Meningkatnya kecepatan aliran udara akan berpengaruh terhadap gaya drag yang diterima kedua blade turbin Savonius. Semakin besar selisih gaya drag yang diterima kedua *blade* turbin Savonius maka nilai putaran yang dihasilkan juga akan semakin besar. Dengan pemberian plat pengganggu didepan *returning blade* Turbin Savonius terjadi peningkatan nilai putaran yang dihasilkan turbin. Peningkatan tersebut terjadi pada semua variasi sudut plat pengganggu turbin Savonius sebagaimana yang dapat dilihat pada gambar 4.6. Plat pengganggu didepan *returning blade* turbin Savonius akan menghalangi aliran udara yang menuju *returning blade* sehingga akan memperkecil gaya drag pada *blade* tersebut. Dengan mengecilnya gaya drag pada sisi *returning blade* maka selisih gaya drag antara *returning* dan *advancing blade* akan semakin besar sehingga akan memperbesar putaran yang dihasilkan oleh turbin Savonius.



Gambar 4.6 Grafik peningkatan nilai putaran yang dihasilkan turbin Savonius sebagai fungsi sudut plat pengganggu

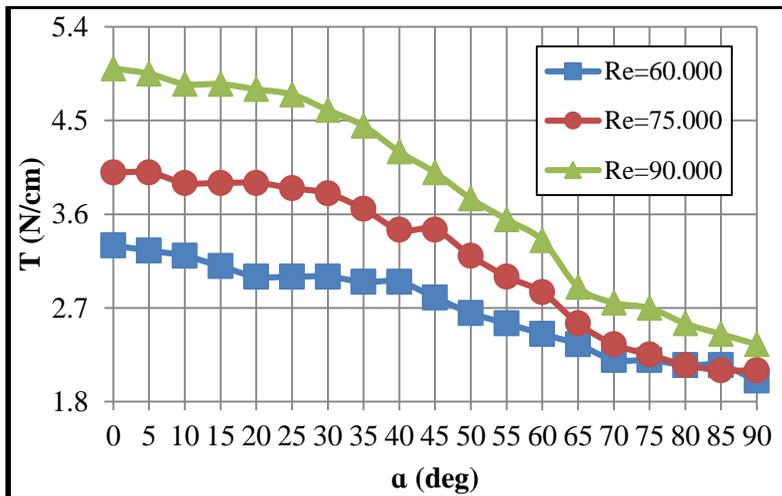
Pada gambar 4.6 terlihat bahwa semua nilai $n/n_0 > 1$ sehingga hal tersebut menunjukkan putaran turbin meningkat bila didepan *returning blade* diberi plat pengganggu. Dari ketiga pengujian nilai *Reynolds Number* dengan variasi sudut antara plat pengganggu terhadap bidang tegak lurus aliran udara menghasilkan grafik dengan *trendline* yang naik sampai titik tertentu lalu turun kembali. Hal ini menunjukkan bahwa dengan variasi sudut plat pengganggu berpengaruh terhadap nilai putaran yang dihasilkan turbin Savonius. Dengan penggunaan plat pengganggu $L/D = 1,4144$ didapatkan nilai putaran terbesar yang dihasilkan oleh turbin Savonius terjadi pada sudut plat pengganggu 40° terhadap bidang tegak lurus aliran udara. Pada sudut tersebut dengan *Reynolds Number* 60.000 terjadi kenaikan nilai putaran dari 556 rpm tanpa pemberian plat pengganggu dan meningkat menjadi 1488 rpm dengan pemberian plat pengganggu sehingga terjadi peningkatan sebesar 167%. Untuk nilai *Reynolds Number* 75.000 terjadi kenaikan putaran dari 764 rpm tanpa pemberian plat pengganggu menjadi 1973 rpm dengan pemberian

plat pengganggu sehingga terjadi kenaikan 158%. Sedangkan untuk Reynolds Number 90.000 terjadi kenaikan putaran turbin dari 956 rpm tanpa pemberian plat pengganggu menjadi 2379 rpm dengan pemberian plat pengganggu sehingga terjadi kenaikan sebesar 149%. Pemberian sudut plat pengganggu selain berfungsi untuk memperkecil gaya drag pada *returning blade* juga dapat berfungsi untuk mengarahkan aliran udara di depan *returning blade* menuju *advancing blade* sehingga kecepatan udara yang menuju *advancing blade* menjadi semakin besar. Dengan meningkatnya aliran udara maka gaya drag yang bekerja pada *advancing blade* juga akan meningkat dan selisih gaya drag pada *advancing blade* dan *returning blade* juga akan semakin besar. Dengan demikian maka putaran yang dihasilkan juga semakin meningkat. Setelah sudut 40° putaran yang dihasilkan turbin savonius semakin menurun. Hal itu disebabkan dengan sudut lebih besar daripada 40° terdapat aliran udara yang tidak terhalang plat pengganggu dan mengenai *returning blade* turbin Savonius sehingga akan menyebabkan adanya gaya drag yang bekerja pada *returning blade*. Selain itu dengan semakin besarnya sudut plat pengganggu maka luasan aliran udara yang diarahkan plat pengganggu menuju *advancing blade* akan semakin sempit dan menyebabkan aliran udara yang menuju *advancing blade* menurun. Hal itu akan memperkecil gaya drag pada *advancing blade*. Kedua hal tersebut akan menyebabkan selisih gaya drag antara *advancing* dan *returning blade* akan semakin menurun sehingga putaran yang dihasilkan turbin juga akan semakin menurun.

4.4 Analisa Nilai Torsi Statis yang Dihasilkan Turbin Savonius Sebagai Fungsi Sudut Plat Pengganggu

Torsi statis merupakan torsi yang dihasilkan turbin Savonius pada saat turbin tidak berputar. Pada penelitian ini pengukuran torsi statis dilakukan menggunakan torsi meter digital pada posisi *blade* turbin tegak lurus aliran udara. Plat pengganggu dengan panjang $L/D = 1,4144$ diletakkan di depan *returning*

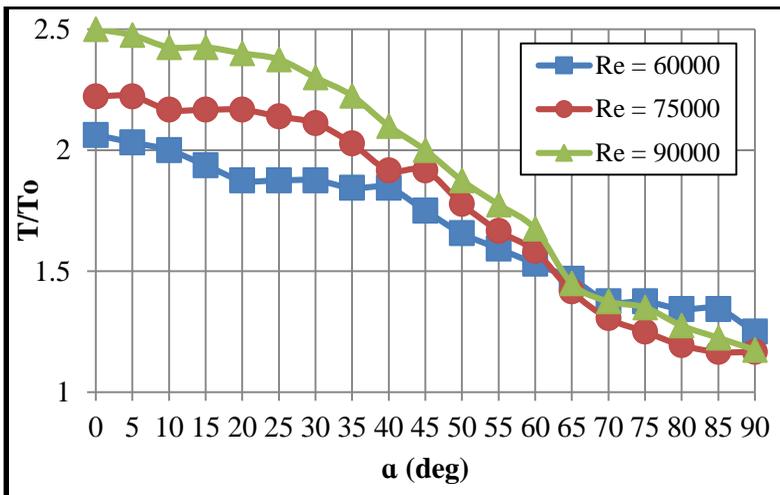
blade turbin Savonius dan digunakan variasi sudut plat pengganggu dan bidang tegak lurus aliran udara dari 0° sampai 90° dengan kenaikan 5° . Penelitian ini dilakukan dalam *Reynolds Number* 60.000, 75.000 dan 90.000. Data yang didapatkan pada penelitian ini berupa nilai torsi statis diubah menjadi sebuah grafik dan dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik nilai torsi statis yang dihasilkan turbin Savonius sebagai fungsi sudut plat pengganggu

Gambar 4.7 menunjukkan grafik nilai torsi statis yang dihasilkan turbin Savonius ketika ditambahkan plat pengganggu dengan posisi di depan *returning blade*. Dengan menggunakan variasi nilai *Reynolds Number* aliran udara yaitu 60.000, 75.000 dan 90.000. Pada grafik tersebut terlihat bahwa pada *Reynolds Number* 90.000 untuk tiap variasi sudut plat pengganggu yang sama memiliki nilai torsi statis yang lebih besar daripada dengan *Reynolds Number* 60.000 dan 75.000. Hasil tersebut sesuai dengan yang diperoleh pada turbin Savonius tanpa menggunakan plat pengganggu dimana dengan bertambahnya nilai *Reynolds Number* maka torsi statis yang dihasilkan juga semakin besar. Hal

itu diakibatkan dengan meningkatnya nilai *Reynolds Number* maka kecepatan aliran udara juga akan meningkat. Meningkatnya kecepatan aliran udara akan mempengaruhi gaya drag yang diterima kedua blade turbin Savonius. *Advancing* dan *returning blade* turbin Savonius memiliki penampang yang berbeda sehingga koefisien drag yang dimiliki juga akan berbeda. Dengan meningkatnya kecepatan aliran udara maka selisih gaya drag pada kedua *blade* turbin juga akan meningkat. Gaya drag yang bekerja pada *blade* turbin Savonius memiliki titik pusat kerja dengan jarak tertentu dari poros turbin sehingga menghasilkan torsi. Dengan meningkatnya selisih gaya drag pada kedua *blade* maka torsi yang dihasilkan juga akan semakin besar. Dengan penambahan plat pengganggu didepan *returning blade* mempengaruhi nilai torsi statis yang dihasilkan turbin Savonius.

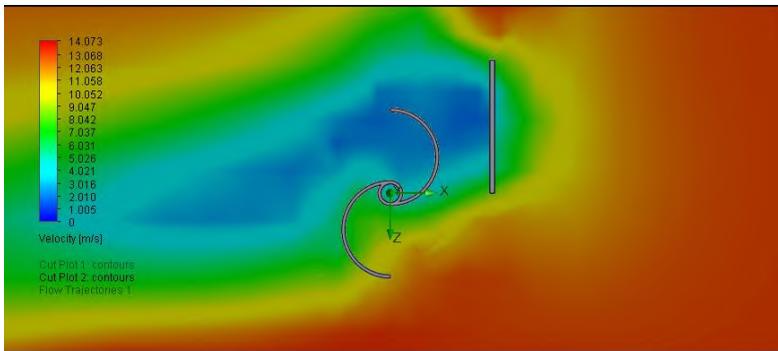


Gambar 4.8 Grafik nilai peningkatan torsi statis yang dihasilkan turbin Savonius sebagai fungsi sudut plat pengganggu

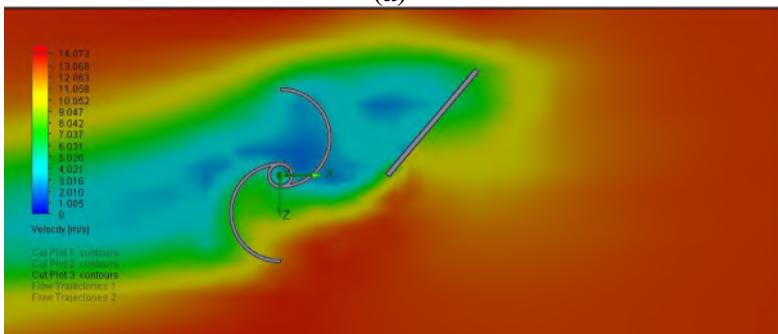
Pada gambar 4.8 diperlihatkan grafik nilai perbandingan antara torsi statis yang dihasilkan oleh turbin Savonius dengan penambahan plat pengganggu dan torsi statis yang dihasilkan

tanpa plat pengganggu (T/T_0) selalu memiliki nilai diatas 1. Hal itu menunjukkan bahwa dengan pemberian plat pengganggu didepan *returning blade* turbin Savonius dapat meningkatkan nilai torsi statis yang dihasilkan. Peningkatan tersebut diakibatkan karena dengan adanya plat pengganggu didepan *returning blade* turbin Savonius akan mengurangi gaya drag yang bekerja pada *returning blade* turbin. Sehingga selisih gaya drag pada kedua *blade* akan meningkat. Dengan meningkatnya selisih gaya drag pada kedua *blade* maka akan meningkat pula torsi statis yang dihasilkan. Adanya plat pengganggu didepan *returning blade* turbin Savonius juga dapat mengarahkan aliran udara didepan *returning blade* menuju *advancing blade* sehingga menambah gaya drag pada *advancing blade*. Dengan meningkatnya gaya drag pada *advancing blade* maka selisih gaya drag pada kedua *blade* juga akan meningkat. Sehingga torsi statis yang dihasilkan juga semakin meningkat. Pada *Reynolds Number* 60.000 terjadi kenaikan torsi statis yang dihasilkan dari 1,6 N.cm sebelum pemberian plat pengganggu menjadi 3,3 N.cm setelah pemberian plat pengganggu atau terjadi kenaikan 106%. Pada *Reynolds Number* 75.000 terjadi kenaikan torsi statis dari 1,8 N.cm sebelum pemberian plat pengganggu menjadi 4 N.cm setelah pemberian plat pengganggu atau terjadi kenaikan 122%. Pada *Reynold Number* 90.000 terjadi kenaikan torsi statis dari 2 N.cm sebelum pemberian plat pengganggu menjadi 5 N.cm setelah pemberian plat pengganggu atau terjadi kenaikan sebesar 150%.

Pada gambar 4.7 maupun 4.8 terlihat bahwa ketiga grafik pengujian memiliki *trendline* yang selalu turun. Hal ini dapat diakibatkan karena torsi statis dipengaruhi oleh gaya dan panjang lengan torsi. Dengan pemberian plat pengganggu didepan *returning blade* turbin Savonius maka dapat mengarahkan aliran udara yang menuju *advancing blade*. Hal itu juga selain mempengaruhi besar gaya drag yang bekerja pada turbin Savonius juga berpengaruh terhadap letak pusat gaya drag.



(a)



(b)

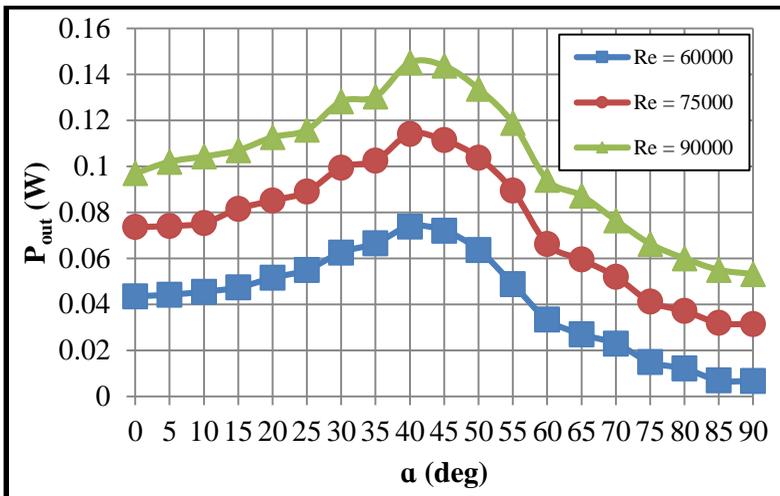
Gambar 4.9 Kontur kecepatan aliran udara yang melintasi turbin Savonius dengan pemberian plat pengganggu di depan *returning blade* turbin dengan sudut: (a) 0° ; (b) 40°

Karena pada penelitian ini diukur nilai torsi statis pada posisi turbin tegak lurus dengan aliran udara maka semakin besar sudut antara plat pengganggu mengakibatkan letak pusat gaya drag aliran udara yang diarahkan oleh plat pengganggu menuju *advancing blade* semakin mendekati poros turbin seperti yang terlihat pada gambar 4.9. Sehingga lengan torsi yang ditimbulkan juga akan semakin mengecil dan torsi statis yang dihasilkan juga akan semakin kecil. Pada gambar 4.7 dan 4.8 terlihat bahwa pada sudut plat pengganggu 0° sampai 40° penurunan torsi statis yang

dihasilkan tidak terlalu signifikan. Hal tersebut karena penurunan torsi statis yang dihasilkan hanya diakibatkan perubahan besar dan pusat kerja gaya drag pada *advancing blade* akibat perubahan sudut plat pengganggu. Sedangkan pada sudut plat pengganggu lebih besar dari 40° penurunan torsi statis yang dihasilkan turbin Savonius cukup signifikan. Hal ini disebabkan selain perubahan besar dan pusat kerja gaya drag pada *advancing blade* juga terdapat aliran udara yang mengenai *returning blade* turbin Savonius sehingga menyebabkan meningkatnya gaya drag pada *returning blade* dan mengakibatkan selisih gaya drag antara kedua *blade* semakin menurun. Dengan menurunnya selisih gaya drag antara kedua *blade* maka torsi statis yang dihasilkan juga semakin menurun. Pada sudut plat pengganggu antara 65° sampai 90° penurunan torsi statis yang dihasilkan tidak terlalu signifikan. Hal ini dikarenakan pada rentang sudut tersebut perubahan luas proyeksi plat pengganggu relatif kecil sehingga perubahan jumlah aliran udara yang diarahkan plat pengganggu dari *returning blade* menuju *advancing blade* juga relatif lebih sedikit. Nilai torsi statis terbesar pada ketiga *Reynolds Number* terdapat pada pemberian plat pengganggu dengan sudut 0° . Hal tersebut dapat diakibatkan selain plat pengganggu dapat mengarahkan aliran udara, adanya plat pengganggu didepan *returning blade* turbin Savonius juga dapat menimbulkan adanya *wake* didepan *returning blade* yang dapat memperkecil gaya drag yang bekerja pada *blade* tersebut. Dengan semakin mengecilnya gaya drag pada *returning blade* maka selisih gaya drag antara kedua *blade* akan meningkat. Peningkatan selisih gaya drag tersebut akan mengakibatkan meningkatnya torsi statis yang dihasilkan turbin Savonius. Dengan demikian pemberian plat pengganggu didepan *returning blade* turbin savonius untuk meningkatkan nilai torsi statis yang dihasilkan paling efektif di letakkan pada posisi sudut plat 0° dan *Reynolds Number* 90.000 dengan nilai peningkatan torsi statis maksimum sebesar 150%.

4.5 Analisa Nilai *Coefficient of Power* yang Dihasilkan Turbin Savonius Sebagai Fungsi Sudut Plat Pengganggu

Metode pengukuran daya yang dilakukan pada penelitian ini yaitu turbin Savonius dihubungkan dengan generator listrik dan *output* generator dihubungkan dengan beban. Nilai tegangan dan arus listrik yang dihasilkan diukur menggunakan multimeter digital. Selanjutnya data berupa tegangan dan arus listrik yang telah didapatkan digunakan dalam perhitungan seperti pada contoh perhitungan sehingga didapatkan nilai *coefficient of power* dari turbin Savonius. Pada penelitian ini pengukuran daya *output* turbin dilakukan dengan menggunakan variasi sudut plat pengganggu mulai 0° sampai 90° dengan kenaikan 5° dan dilakukan dalam tiga *Reynolds Number* yaitu 60.000, 75.000 dan 90.000. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.9.

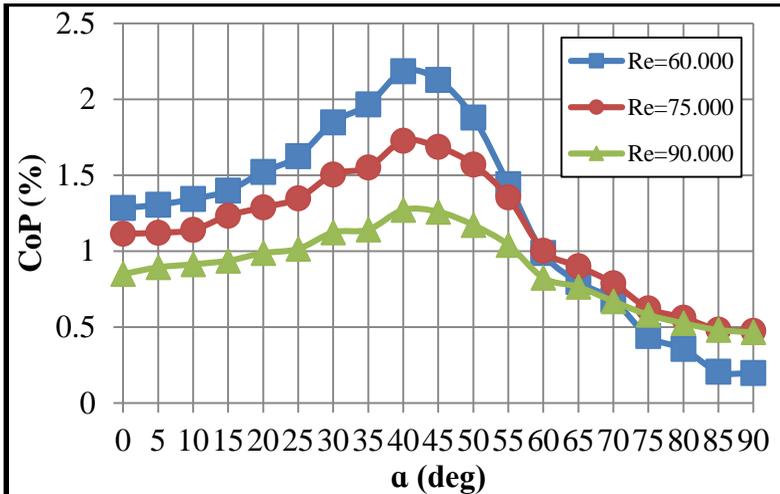


Gambar 4.10 Grafik nilai daya *output* yang dihasilkan turbin Savonius sebagai fungsi sudut plat pengganggu

Pada gambar 4.10 menunjukkan grafik nilai daya *output* yang dihasilkan turbin Savonius ketika diletakkan plat

pengganggu didepan *returning blade* dengan variasi sudut plat pengganggu dengan bidang tegak lurus aliran udara. Dari grafik tersebut terlihat bahwa pada *Reynolds Number* 90.000, turbin menghasilkan daya *output* terbesar dari pada daya *output* yang dihasilkan *Reynolds Number* 75.000 dan 60.000 pada sudut plat pengganggu yang sama. Hal ini disebabkan karena dengan meningkatnya *Reynolds Number* maka kecepatan aliran udara juga akan meningkat sehingga selisih gaya drag pada *advancing* dan *returning blade* juga akan meningkat. Dengan meningkatnya selisih gaya drag pada kedua *blade* maka daya *output* yang dihasilkan juga mengalami peningkatan. Dengan pemberian plat pengganggu didepan *returning blade* turbin Savonius maka akan mengurangi gaya drag yang terjadi pada *returning blade* sehingga selisih gaya drag pada kedua *blade* akan semakin besar. Selain itu dengan pemberian sudut plat pengganggu juga berfungsi untuk mengarahkan aliran udara yang menuju ke *returning blade* menuju *advancing blade*. Sehingga gaya drag yang timbul pada *advancing blade* juga akan semakin besar. Dengan bertambahnya gaya drag pada *advancing blade* maka selisih gaya drag pada kedua *blade* juga akan semakin besar dan daya *output* yang dihasilkan juga semakin besar. Pada ketiga *Reynolds Number* tersebut menghasilkan *trendline* grafik yang cenderung sama. Dimana nilai daya *output* yang dihasilkan akan naik sampai sudut tertentu lalu turun kembali. Pada sudut 0° sampai 40° terjadi kenaikan daya *output* yang dihasilkan karena perubahan sudut plat mempengaruhi kecepatan aliran udara yang diarahkan oleh plat pengganggu dari depan *returning blade* menuju *advancing blade*. Pada sudut 40° sampai 90° terjadi penurunan daya *output* yang dihasilkan. Hal itu disebabkan karena pada sudut lebih besar daripada 40° ada aliran udara yang tidak terhalang oleh plat pengganggu dan menyebabkan adanya gaya drag pada *returning blade* turbin Savonius. Sehingga selisih gaya drag antara kedua *blade* akan menurun dan daya *output* yang dihasilkan juga akan menurun. Data daya *output* yang telah didapatkan selanjutnya

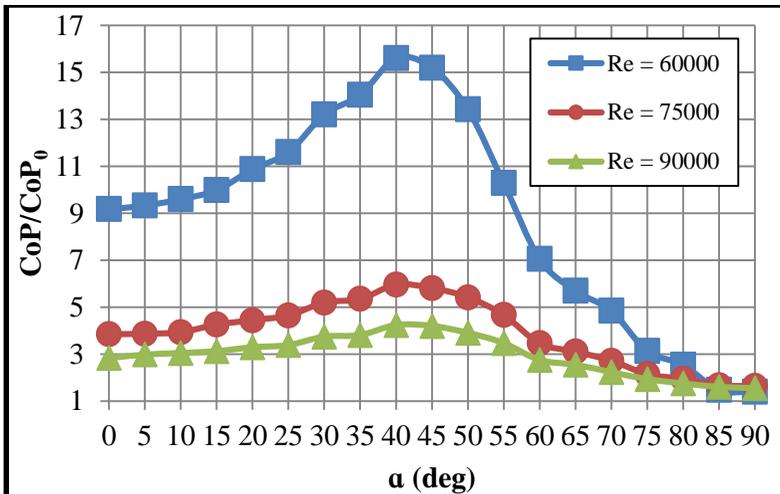
diolah menjadi data *coefficient of power* yang dapat dilihat pada gambar 4.11.



Gambar 4.11 Grafik nilai *Coefficient of Power* yang dihasilkan turbin Savonius sebagai fungsi sudut plat pengganggu

Pada gambar 4.11 menunjukkan nilai *coefficient of power* turbin Savonius ketika diletakkan plat pengganggu di depan *returning blade* turbin. *Coefficient of power* merupakan perbandingan antara daya *output* yang dihasilkan turbin Savonius terhadap daya input yang berasal dari aliran udara. Oleh sebab itu *coefficient of power* juga dapat menunjukkan efisiensi yang dihasilkan turbin Savonius. Posisi *coefficient of power* tertinggi untuk masing-masing *Reynolds Number* juga mengalami perubahan antara tanpa pemberian plat pengganggu dan dengan pemberian plat pengganggu. Jika tanpa pemberian plat pengganggu pada *Reynolds Number* 60.000 memiliki nilai *coefficient of power* paling rendah dibandingkan pada *Reynolds Number* 75.000 dan 90.000 maka dengan pemberian plat pengganggu dari ketiga *Reynolds Number* terlihat memiliki *trendline* yang hampir sama dimana pada nilai *Reynolds Number*

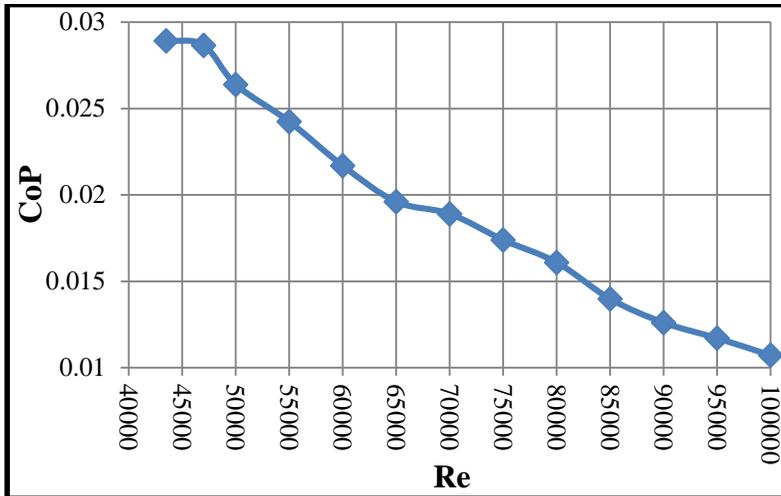
60.000 memiliki nilai *coefficient of power* yang paling besar diikuti oleh *Reynolds Number* 75.000 dan yang paling rendah yaitu pada *Reynolds Number* 90.000 pada sudut plat pengganggu 0° sampai 55°. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan efisiensi yang dimiliki turbin Savonius ketika tanpa pemberian plat pengganggu dan dengan pemberian plat pengganggu. Pada *Reynolds Number* 60.000 dan posisi plat pengganggu dengan sudut 60° sampai 90°, *coefficient of power* yang dihasilkan turbin Savonius mengalami penurunan yang sangat signifikan hingga nilainya dibawah *coefficient of power* pada *Reynold Number* 75.000 dan 90.000 dengan sudut yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa sistem turbin Savonius dan generator yang digunakan memiliki efisiensi yang menurun drastis pada kecepatan angin rendah dengan sudut plat pengganggu 60° sampai 90°. Trendline dari daya *output* dan *coefficient of power* ketiga *Reynolds Number* pada gambar 4.10 dan 4.11 juga memiliki perbedaan bentuk dan posisi. Perbedaan tersebut diakibatkan walaupun dengan penambahan nilai *Reynold Number* dapat meningkatkan daya *output* yang dihasilkan oleh turbin Savonius seperti yang terlihat pada gambar 4.10 tetapi kenaikan daya *output* turbin yang dihasilkan tidak sebanding dengan kenaikan daya *input* yang diberikan untuk menaikkan nilai *Reynolds Number*. Hal tersebut dipengaruhi oleh nilai efisiensi yang dimiliki turbin Savonius. Pada penelitian ini didapatkan nilai *coefficient of power* terbesar yaitu 2,18% pada *Reynolds Number* 60.000 dan sudut plat pengganggu 40°. Nilai tersebut jauh dari *coefficient of power* maksimal yang dapat dihasilkan turbin Savonius secara teoritis yaitu sebesar 18% seperti yang terlihat pada gambar 2.3. Hal ini diakibatkan penggunaan motor listrik untuk pengukuran daya output yang dihasilkan turbin Savonius. Motor listrik yang digunakan memiliki efisiensi yang sangat kecil sehingga daya output yang dihasilkan memiliki nilai yang sangat kecil.



Gambar 4.12 Grafik peningkatan nilai *Coefficient of Power* yang dihasilkan turbin Savonius sebagai fungsi sudut plat pengganggu

Pada gambar 4.12 menunjukkan grafik perbandingan nilai *coefficient of power* turbin Savonius setelah pemberian plat pengganggu didepan *returning blade* dan tanpa pemberian plat pengganggu. Pada grafik tersebut terlihat bahwa perbandingan CoP/CoP_0 selalu memiliki nilai diatas satu. Hal itu menunjukkan bahwa dengan pemberian plat pengganggu didepan *returning blade* turbin Savonius dapat meningkatkan nilai *coefficient of power* yang dihasilkan turbin. Pada ketiga *Reynolds Number* memiliki tingkat kenaikan nilai *coefficient of power* yang berbeda-beda disebabkan oleh efisiensi yang dimiliki turbin Savonius. Pada nilai *Reynolds Number* 60.000 turbin Savonius dengan pemberian plat pengganggu pada sudut tersebut memiliki nilai efisiensi yang lebih baik daripada *Reynolds Number* 75.000 dan 90.000. *Coefficient of power* terbesar yang dihasilkan turbin Savonius dengan pemberian plat pengganggu $L/D = 1,4144$ terdapat pada sudut 40° untuk *Reynolds Number* 60.000 dengan kenaikan sebesar 1459%. Pada sudut plat pengganggu 40° nilai *coefficient of power* terbesar berada pada *Reynolds Number* 60.000

lalu diikuti dengan *Reynolds Number* 75.000 dan 90.000. Hal tersebut dikarenakan efisiensi yang dimiliki turbin Savonius. Hasil serupa juga didapatkan pada grafik *coefficient of power* terhadap *Reynolds Number* dengan sudut plat pengganggu 40° pada gambar 4.13.

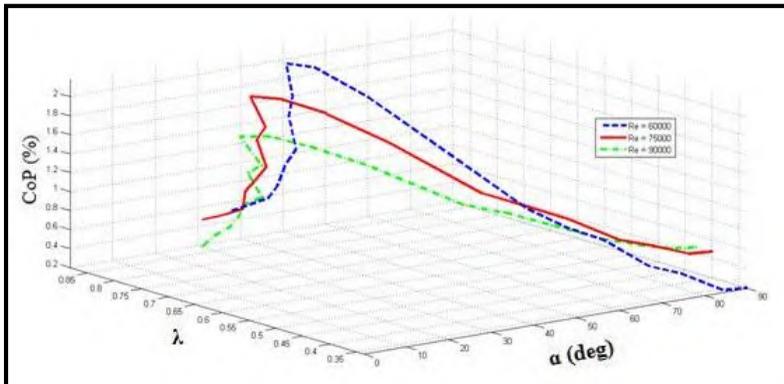


Gambar 4.13 Grafik nilai *coefficient of power* yang dihasilkan turbin Savonius sebagai fungsi *Reynolds Number* pada sudut plat pengganggu 40°

Dari gambar 4.13 terlihat bahwa nilai *coefficient of power* yang dihasilkan turbin Savonius selalu menurun pada *Reynolds Number* 47.000 hingga 100.000. Hal ini diakibatkan pada *Reynolds Number* diatas 47.000 efisiensi yang dimiliki turbin Savonius semakin menurun. Sehingga pada penelitian ini yang menggunakan *Reynolds Number* 60.000, 75.000 dan 90.000 *coefficient of power* terbesar didapatkan pada *Reynolds Number* 60.000.

4.6 Analisa Nilai *Coefficient of Power* yang Dihasilkan Turbin Savonius Sebagai Fungsi *Tip Speed Ratio*

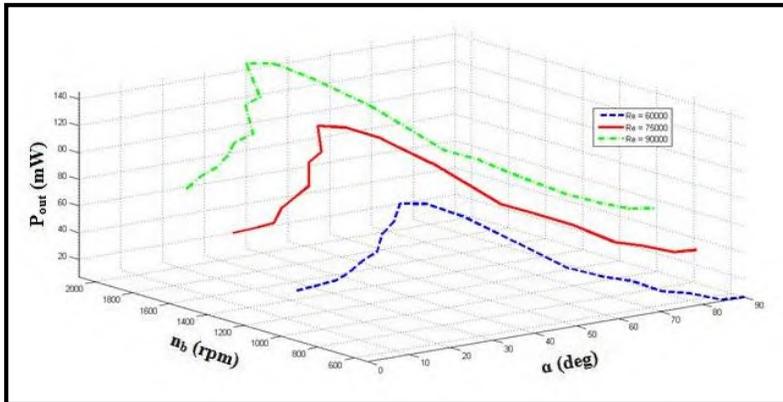
Tip speed ratio merupakan perbandingan kecepatan ujung *blade* turbin Savonius terhadap kecepatan aliran udara. Kecepatan ujung *blade* turbin didapatkan dari perkalian kecepatan sudut turbin dan jarak ujung turbin ke pusat poros turbin. Kecepatan sudut turbin diperoleh dari kecepatan putaran turbin pada saat turbin dihubungkan dengan generator dan beban. Selanjutnya dilakukan perhitungan seperti pada contoh perhitungan dan hasilnya disajikan dalam bentuk grafik *coefficient of power* sebagai fungsi *tip speed ratio*. Grafik tersebut dapat dilihat pada gambar 4.14.



Gambar 4.14 Grafik nilai *coefficient of power* yang dihasilkan turbin Savonius sebagai fungsi *tip speed ratio*

Gambar 4.14 menunjukkan grafik nilai *coefficient of power* turbin savonius sebagai fungsi *tip speed ratio* dengan variasi sudut plat pengganggu dari 0° sampai 90° dengan kenaikan 5° dan dilakukan pada *Reynolds Number* 60.000, 75.000 dan 90.000. Pada grafik tersebut menunjukkan bahwa ketiga *Reynolds Number* memiliki trendline grafik yang sama dimana semakin besar *tip speed ratio* yang dihasilkan oleh turbin Savonius maka *coefficient of power* yang dihasilkan juga semakin besar. Hal

tersebut sesuai dengan grafik pada gambar 2.3 dimana pada buku *Introduction to fluid Mechanics (Fox dkk, 5th edition, 1998)* ditunjukkan bahwa nilai *coefficient of power* sebagai fungsi *tip speed ratio* untuk turbin Savonius akan selalu meningkat sampai titik tertentu kemudian turun kembali. Pada penelitian ini diperkirakan hasil *coefficient of power* dan *tip speed ratio* masih belum melewati titik puncak tersebut sehingga grafik yang diperoleh menunjukkan *coefficient of power* elalu meningkat seiring dengan meningkatnya *tip speed ratio*. Hal tersebut berlaku untuk *Reynolds Number* 60.000, 75.000 dan 90.000.



Gambar 4.15 Grafik nilai daya *output* yang dihasilkan turbin Savonius sebagai fungsi putaran dengan pembebanan

Pada penelitian ini didapatkan hasil daya *output* yang dihasilkan oleh turbin Savonius selalu meningkat dengan meningkatnya nilai putaran turbin. Besarnya kenaikan daya *output* yang dihasilkan turbin Savonius sebanding dengan peningkatan putaran turbin untuk *Reynolds Number* 60.000, 75.000 dan 90.000 seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.15. Tetapi pada grafik *coefficient of power* sebagai fungsi *tip speed ratio* pada gambar 4.14 menunjukkan bahwa pada *Reynolds Number* 60.000 memiliki nilai *coefficient of power* lebih besar

dari pada *Reynolds Number* 75.000 dan 90.000 untuk *tip speed ratio* yang sama. Hal tersebut disebabkan karena *coefficient of power* dan *tip speed ratio* dipengaruhi oleh daya input dan kecepatan aliran udara. Sedangkan kenaikan *Reynolds Number* juga akan disertai kenaikan kecepatan aliran udara. Sehingga kenaikan *Reynolds Number* akan berpengaruh terhadap nilai *coefficient of power* dan *tip speed ratio*. Perbedaan nilai *coefficient of power* terhadap *tip speed ratio* untuk *Reynolds Number* 60.000, 75.000, dan 90.000 disebabkan karena tidak sebandingnya kenaikan nilai daya *output* dan putaran yang dihasilkan oleh turbin savonius terhadap kenaikan kecepatan aliran udara untuk menaikkan nilai *Reynolds Number*. Tidak sebandingnya kenaikan daya *output* dan putaran yang dihasilkan oleh turbin Savonius terhadap kecepatan aliran udara diakibatkan oleh efisiensi yang dimiliki turbin Savonius tersebut. Maka dapat diketahui pada turbin Savonius yang digunakan pada penelitian ini memiliki efisiensi terbesar pada *Reynolds Number* 60.000 daripada *Reynolds Number* 75.000 dan 90.000.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Tabel A1. Data putaran turbin Savonius

α	n			n/n ₀		
	Re = 60.000	Re = 75.000	Re = 90.000	Re = 60.000	Re = 75.000	Re = 90.000
Standar	556	764	956			
0	1120	1528	1856	2.01	2.00	1.94
5	1132	1543	1867	2.04	2.02	1.95
10	1145	1560	1876	2.06	2.04	1.96
15	1189	1598	1934	2.14	2.09	2.02
20	1232	1653	2025	2.22	2.16	2.12
25	1264	1698	2044	2.27	2.22	2.14
30	1330	1771	2146	2.39	2.32	2.24
35	1387	1848	2228	2.49	2.42	2.33
40	1488	1973	2379	2.68	2.58	2.49
45	1464	1940	2339	2.63	2.54	2.45
50	1342	1799	2186	2.41	2.35	2.29
55	1146	1596	1953	2.06	2.09	2.04
60	1069	1451	1758	1.92	1.90	1.84
65	924	1278	1594	1.66	1.67	1.67
70	847	1190	1495	1.52	1.56	1.56
75	725	1024	1302	1.30	1.34	1.36
80	698	986	1234	1.26	1.29	1.29
85	647	958	1225	1.16	1.25	1.28
90	637	948	1217	1.15	1.24	1.27

Tabel A2. Data torsi statis turbin Savonius

α	T			T/T ₀		
	Re = 60.000	Re = 75.000	Re = 90.000	Re = 60.000	Re = 75.000	Re = 90.000
Standar	1.6	1.8	2			
0	3.3	4	5	2.06	2.22	2.50
5	3.25	4	4.95	2.03	2.22	2.48
10	3.2	3.9	4.85	2.00	2.17	2.43
15	3.1	3.9	4.85	1.94	2.17	2.43
20	3	3.9	4.8	1.88	2.17	2.40
25	3	3.85	4.75	1.88	2.14	2.38
30	3	3.8	4.6	1.88	2.11	2.30
35	2.95	3.65	4.45	1.84	2.03	2.23
40	2.95	3.45	4.2	1.84	1.92	2.10
45	2.8	3.45	4	1.75	1.92	2.00
50	2.65	3.2	3.75	1.66	1.78	1.88
55	2.55	3	3.55	1.59	1.67	1.78
60	2.45	2.85	3.35	1.53	1.58	1.68
65	2.35	2.55	2.9	1.47	1.42	1.45
70	2.2	2.35	2.75	1.38	1.31	1.38
75	2.2	2.25	2.7	1.38	1.25	1.35
80	2.15	2.15	2.55	1.34	1.19	1.28
85	2.15	2.1	2.45	1.34	1.17	1.23
90	2	2.1	2.35	1.25	1.17	1.18

Tabel A3. Data CoP dan TSR turbin Savonius

α	CoP (%)			TSR		
	Re = 60.000	Re = 75.000	Re = 90.000	Re = 60.000	Re = 75.000	Re = 90.000
Standar	0.117	0.288	0.298	0.286	0.329	0.341
0	1.284	1.115	0.849	0.585	0.636	0.636
5	1.306	1.121	0.893	0.589	0.638	0.651
10	1.343	1.140	0.913	0.591	0.640	0.664
15	1.398	1.234	0.937	0.615	0.674	0.689
20	1.522	1.288	0.987	0.640	0.695	0.718
25	1.624	1.347	1.015	0.660	0.715	0.723
30	1.848	1.505	1.123	0.712	0.772	0.788
35	1.965	1.551	1.141	0.745	0.796	0.802
40	2.183	1.726	1.271	0.796	0.863	0.882
45	2.127	1.685	1.258	0.783	0.847	0.868
50	1.880	1.570	1.171	0.726	0.802	0.831
55	1.440	1.353	1.041	0.619	0.724	0.746
60	0.987	1.003	0.824	0.511	0.591	0.621
65	0.797	0.900	0.764	0.473	0.555	0.588
70	0.678	0.787	0.670	0.443	0.508	0.540
75	0.439	0.623	0.580	0.400	0.454	0.487
80	0.356	0.562	0.525	0.380	0.431	0.457
85	0.206	0.483	0.481	0.339	0.403	0.437
90	0.196	0.475	0.465	0.336	0.399	0.431

Tabel A4. Data perhitungan CoP dan TSR pada $Re = 6 \times 10^4$

α	V (V)	I (mA)	n_b	Pout (W)	Pin (W)	CoP (%)	TSR	CoP/CoP ₀
St d	1.71	2.31	452	0.004	3.382	0.117	0.286	
0	1.81	24	923	0.043	3.382	1.284	0.585	9.173
5	1.81	24.4	930	0.044	3.382	1.306	0.589	9.326
10	1.81	25.1	933	0.045	3.382	1.343	0.591	9.594
15	1.81	26.1	970	0.047	3.382	1.398	0.615	9.987
20	1.82	28.3	1010	0.051	3.382	1.522	0.640	10.871
25	1.82	30.2	1041	0.055	3.382	1.624	0.660	11.601
30	1.83	34.2	1124	0.063	3.382	1.848	0.712	13.202
35	1.83	36.3	1176	0.066	3.382	1.965	0.745	14.036
40	1.84	40.2	1256	0.074	3.382	2.183	0.796	15.595
45	1.84	39.2	1236	0.072	3.382	2.127	0.783	15.190
50	1.82	34.9	1146	0.064	3.382	1.880	0.726	13.428
55	1.82	26.8	977	0.049	3.382	1.440	0.619	10.289
60	1.8	18.6	806	0.033	3.382	0.987	0.511	7.050
65	1.79	15.1	746	0.027	3.382	0.797	0.473	5.695
70	1.78	12.9	699	0.023	3.382	0.678	0.443	4.843
75	1.77	8.41	631	0.015	3.382	0.439	0.400	3.138
80	1.77	6.82	599	0.012	3.382	0.356	0.380	2.542
85	1.72	4.06	535	0.007	3.382	0.206	0.339	1.470
90	1.68	3.95	530	0.007	3.382	0.196	0.336	1.398

Tabel A5. Data perhitungan CoP dan TSR pada $Re = 7,5 \times 10^4$

α	V (V)	I (mA)	n_b	Pout (W)	Pin (W)	CoP (%)	TSR	CoP/CoP ₀
Std	1.82	10.44	648	0.019	6.606	0.288	0.329	
0	1.84	40.1	1255	0.074	6.606	1.115	0.636	3.845
5	1.84	40.3	1258	0.074	6.606	1.121	0.638	3.864
10	1.84	41	1263	0.075	6.606	1.140	0.640	3.931
15	1.84	44.3	1330	0.082	6.606	1.234	0.674	4.255
20	1.85	46.1	1370	0.085	6.606	1.288	0.695	4.442
25	1.85	48.2	1410	0.089	6.606	1.347	0.715	4.644
30	1.86	53.6	1522	0.099	6.606	1.505	0.772	5.190
35	1.86	55.2	1569	0.102	6.606	1.551	0.796	5.348
40	1.86	61.2	1702	0.114	6.606	1.726	0.863	5.951
45	1.86	59.8	1671	0.111	6.606	1.685	0.847	5.812
50	1.86	55.8	1582	0.104	6.606	1.570	0.802	5.414
55	1.84	48.6	1428	0.089	6.606	1.353	0.724	4.665
60	1.83	36.2	1165	0.066	6.606	1.003	0.591	3.458
65	1.82	32.6	1094	0.059	6.606	0.900	0.555	3.104
70	1.82	28.6	1002	0.052	6.606	0.787	0.508	2.715
75	1.81	22.8	895	0.041	6.606	0.623	0.454	2.148
80	1.8	20.6	850	0.037	6.606	0.562	0.431	1.938
85	1.79	17.8	795	0.032	6.606	0.483	0.403	1.667
90	1.79	17.5	787	0.031	6.606	0.475	0.399	1.639

Tabel A6. Data perhitungan CoP dan TSR pada $Re = 9 \times 10^4$

α	V (V)	I (mA)	n_b	Pout (W)	Pin (W)	CoP (%)	TSR	CoP/CoP ₀
Std	1.88	18.1	806	0.034	11.41	0.298	0.341	
0	1.86	52.2	1504	0.097	11.41	0.849	0.636	2.830
5	1.86	54.9	1540	0.102	11.41	0.893	0.651	2.977
10	1.86	56.1	1572	0.104	11.41	0.913	0.664	3.044
15	1.86	57.5	1630	0.107	11.41	0.937	0.689	3.123
20	1.86	60.5	1698	0.113	11.41	0.987	0.718	3.289
25	1.86	62.1	1711	0.116	11.41	1.015	0.723	3.382
30	1.87	68.6	1866	0.128	11.41	1.123	0.788	3.744
35	1.87	69.6	1898	0.130	11.41	1.141	0.802	3.804
40	1.88	77.2	2088	0.145	11.41	1.271	0.882	4.236
45	1.88	76.5	2055	0.144	11.41	1.258	0.868	4.195
50	1.86	71.8	1966	0.134	11.41	1.171	0.831	3.904
55	1.86	63.8	1765	0.119	11.41	1.041	0.746	3.469
60	1.85	50.8	1469	0.094	11.41	0.824	0.621	2.747
65	1.85	47.2	1392	0.087	11.41	0.764	0.588	2.547
70	1.84	41.6	1278	0.076	11.41	0.670	0.540	2.233
75	1.83	36.2	1153	0.066	11.41	0.580	0.487	1.934
80	1.83	32.8	1082	0.060	11.41	0.525	0.457	1.750
85	1.82	30.2	1035	0.055	11.41	0.481	0.437	1.604
90	1.82	29.2	1019	0.053	1.41	0.465	0.431	1.551

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari analisa yang telah dilakukan tentang hasil penelitian pengaruh sudut plat pengganggu didepan *returning blade* turbin tipe Savonius terhadap performa turbin didapatkan beberapa kesimpulan antara lain:

1. Pemberian plat pengganggu dengan $L/D=1,4144$ didepan *returning blade* turbin Savonius dapat meningkatkan kinerja turbin Savonius yang diteliti ditandai dengan meningkatnya nilai putaran, torsi statis, dan *coefficient of power* yang dihasilkan turbin pada semua sudut plat pengganggu.
2. Plat pengganggu dengan $L/D=1,4144$ paling efektif digunakan untuk meningkatkan putaran turbin Savonius bila diletakkan pada sudut 40° dan Reynolds Number 60.000 dengan kenaikan mencapai 1,67 kali dibandingkan tanpa menggunakan plat pengganggu.
3. Plat pengganggu dengan $L/D=1,4144$ paling efektif digunakan untuk meningkatkan torsi statis turbin Savonius bila diletakkan pada sudut 0° dan Reynold Number 90.000 dengan kenaikan mencapai 1,5 kali dibandingkan tanpa menggunakan plat pengganggu.
4. Plat pengganggu dengan $L/D=1,4144$ paling efektif digunakan untuk meningkatkan *coefficient of power* turbin Savonius bila diletakkan pada sudut 40° dan Reynolds Number 60.000 dengan kenaikan mencapai 14,59 kali dibandingkan tanpa menggunakan plat pengganggu.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang dapat diberikan setelah melakukan penelitian dan mungkin berguna untuk penelitian selanjutnya antara lain:

1. Pada penelitian ini kurang diperhitungkan perbandingan besar benda uji terhadap *wind tunnel* yang digunakan

sehingga untuk penelitian selanjutnya diharapkan untuk memperhitungkan hal tersebut agar hasil yang didapat lebih maksimal.

2. Dalam melakukan pengukuran daya yang dihasilkan turbin Savonius diharapkan melakukan dengan cara lain agar didapatkan nilai *coefficient of power* yang lebih besar. Jika menggunakan cara seperti pada penelitian ini maka nilai efisiensi yang didapatkan akan sangat kecil karena dipengaruhi oleh efisiensi motor listrik yang sangat kecil.
3. Pengukuran torsi sebaiknya dilakukan pengukuran torsi dinamis yang dihasilkan turbin bukan torsi statis sehingga dapat diketahui hubungan antara putaran, torsi dan *coefficient of power* yang dihasilkan turbin Savonius.

DAFTAR PUSTAKA

1. B. D. Altan, M. Atilgan, dan A. Ozdamar. 2008. An experimental study on improvement of a Savonius rotor performance with curtaining. *Experimental Thermal and Fluid Science*; 32 (2008) 1673–1678.
2. D. Thevenin, M.H. Mohamed, G. Janiga, dan E. Pap. 2010. Optimal blade shape of a modified Savonius turbine using an obstacle shielding the returning blade. *Energy Conversion and Management*; 52 (2011) 236–242.
3. Fox, Robert W. dan Mc. Donald, Alan T. 1998. *Introduction to fluid Mechanics*, 5th edition, John Wiley and Son, Inc.
4. Global Wind Energy Council (GWEC) – global trends. <<http://www.gwec.net/index.php?id=13>>
5. Gupta, Biswas A, Sharma KK. 2008. Comparative study of a three-bucket Savonius rotor with a combined three-bucket Savonius-three bladed Darrieus rotor. *Renewable Energy*; 33(9) : 1974-81.
6. Imamih, Nor. 2015. Studi eksperimen pengaruh hub terhadap coefficient of power vertical axis wind turbine (vawt) savonius dengan material turbin polivinil clorida (PVC). Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
7. M. H. Mohamed, G. Janiga, E. Pap, dan D. Thevenin. 2010. Optimization of Savonius turbines using an obstacle shielding the returning blade. *Renewable Energy*; 35 (2010) 2618-2626.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis, Yoga Erry Priandika merupakan anak kedua dari dua bersaudara, yang lahir pada tanggal 22 Desember 1993 di Kabupaten Lamongan. Penulis memulai pendidikannya di TK Dharma Bhakti (1998-2000). Kemudian melanjutkan pendidikan di SDN Jotosanur 2 (2000-2006), SMPN 1 Lamongan (2006-2009), SMAN 2 Lamongan (2009-2012). Setelah menyelesaikan pendidikan SMA pada tahun 2012, penulis melanjutkan pendidikan ke tahap perguruan tinggi di S1 Teknik

Mesin ITS (2012-2016) melalui SNMPTN jalur tes tulis.

Semasa SMA penulis aktif dalam ekstrakurikuler SMA N 2 Pecinta Alam Lamongan (SMADAPALA) sebagai wakil ketua umum (2010-2011). Sedangkan semasa kuliah, Penulis aktif di organisasi mahasiswa Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin (LBMM-ITS) dan berperan sebagai Ketua Divisi Organisasi LBMM (2014-2015). Prestasi yang pernah diraih semasa SMA yaitu juara 1 olimpiade fisika tingkat kabupaten Lamongan (2010). Sedangkan prestasi semasa kuliah yang pernah diraih yaitu sebagai finalis Lomba inovasi BKSTM 2015 dan mengikuti *Roberto Rocca Education Program (RREP)*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

.