



TUGAS AKHIR – TM 141585

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI SUDUT
PENEMPATAN PLAT PENGHALANG DI DEPAN
RETURNING BLADE TERHADAP PERFORMA
TURBIN ANGIN SAVONIUS**

“Studi kasus untuk Variasi Rasio $L/D = 1,414$; $\Theta = 0^\circ \leq \Theta \leq 90^\circ$; Bilangan Reynolds = 3×10^4 , 6×10^4 , dan 9×10^4 ”

**NABILA PRASTIYA PUTRI
NRP 2113 100 038**

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

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT – TM 141585

**EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF
OBSTACLE'S PLATE VARIATION ANGLE IN
FRONT OF RETURNING BLADE TO THE
SAVONIUS TURBINE'S PERFORMANCE**

“Study Case For The Variation $L/D = 1,414$; $\Theta = 0^\circ \leq \Theta \leq 90^\circ$; Reynolds Number = 3×10^4 , 6×10^4 , dan 9×10^4 ”

**NABILA PRASTIYA PUTRI
NRP 2113 100 038**

Supervisor
Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017**

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI SUDUT
PENEMPATAN PLAT PENGHALANG DI DEPAN
RETURNING BLADE TERHADAP PERFORMA TURBIN
ANGIN SAVONIUS**

“Studi Kasus untuk $(L/D) = 1,414$; $\theta = 0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$; Bilangan
Reynolds = 3×10^4 , 6×10^4 , dan 9×10^4 ”

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

NABILA PRASTIYA PUTRI

NRP. 2113 100 038

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Prof. Dr. Triyogi Yuwono, DEA
(NIP. 196001291987011001) (Pembimbing)
2. Prof. Ir. Sutardi, M.Eng. PhD
(NIP. 196412281990031002) (Penguji I)
3. Dr. Wawan Aries Widodo, ST. MT
(NIP. 197104051997021001) (Penguji II)
4. Dr. Ir. Heru Mirmanto
(NIP. 196202161995121001) (Penguji III)

**SURABAYA
JULI 2017**

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI SUDUT
PENEMPATAN PLAT PENGHALANG DI DEPAN
RETURNING BLADE TERHADAP PERFORMA
TURBIN ANGIN SAVONIUS**

“Studi kasus untuk Variasi Rasio $L/D = 1,414$; $\Theta = 0^\circ \leq \Theta \leq 90^\circ$; Bilangan Reynolds = $3 \times 10^4, 6 \times 10^4, 9 \times 10^4$ ”

Nama Mahasiswa : Nabila Prastiya Putri
NRP : 2113 100 038
Jurusan : Teknik Mesin FTI ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA

Abstrak

Indonesia merupakan negara berkembang dengan kebutuhan akan energi fosil yang cukup tinggi. Namun, energi fosil akan habis dan mengakibatkan krisis energi. Dimana, energi fosil merupakan energi yang tidak dapat diperbaharui. Sehingga, solusi dari masalah tersebut adalah dengan menggunakan energi alternatif. Energi yang berpotensi di Indonesia adalah energi angin yang mampu diubah menjadi energi listrik menggunakan turbin dan generator. Turbin Savonius merupakan turbin yang memiliki posisi rotor dalam posisi vertikal dan merupakan tipe turbin yang mudah dibuat masyarakat. Adapun 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 penghalang didepan returning blade.

Penelitian ini menggunakan axial fan sebagai sumber aliran udara dengan bantuan honeycomb sebagai penyearah aliran yang dipasang 500 mm dari depan axial fan yang digunakan. Adapun kecepatan yang digunakan diambil dari variasi bilangan Reynolds Number 30.000, 60.000, dan 90.000 dengan nilai kecepatan sebesar 2,48 m/s, 4,96 m/s dan 7,45 m/s dimana nilai ini didapatkan berdasarkan pada kecepatan freestream dan panjang karakteristik dari turbin angin. Untuk pengujian ini digunakan benda uji dengan diameter sudu dan tinggi turbin masing-masing 101,6 mm dan 300 mm diletakan 3500 mm dari axial fan. Adapun plat penghalang yang digunakan memiliki lebar, tinggi dan tebal masing-masing sebesar 143,6 mm, 300 mm dan 3 mm yang ditempatkan di depan returning blade dengan penempatan sudut plat dari 0^0 hingga 90^0 .

Sehingga dari penelitian ini dapat dihitung coefficient of performance dan nilai tip speed ratio pada turbin Savonius dengan plat penghalang. Adapun hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah plat penghalang dengan rasio $L/D = 1,414$ memiliki penempatan sudut paling efektif pada sudut 45^0 dan Reynolds Number 60.000 untuk nilai coefficient of power dengan kenaikan sebesar 1,85 kali setelah menggunakan plat penghalang, memiliki nilai sudut efektif untuk torsi statis pada saat peletakan dilakukan saat sudut 30^0 di nilai Reynolds Number 90.000 dengan kenaikan sebesar 2,60 kali setelah menggunakan plat penghalang. Sedangkan untuk peningkatan nilai putaran mengalami kenaikan 1,216 kali pada Reynolds Number 60.000 setelah diberikan plat penghalang pada sudut bukaan 45^0 .

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

EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF OBSTACLE'S PLATE VARIATION ANGLE IN FRONT OF RETURNING BLADE TO THE SAVONIUS TURBINE'S PERFORMANCE

“Study Case For The Variation $L/D = 1,414$; $\Theta = 0^\circ \leq \Theta \leq 90^\circ$; Reynolds Number = 3×10^4 , 6×10^4 , dan 9×10^4 ”

Student's Name : Nabila Prastiya Putri
NRP : 2113 100 038
Department : Mechanical Engineering FTI ITS
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA

Abstract

As time goes by, we know that fossil energy will run out, which will lead to an energy crisis. Thus, the solution for that problem is to use an alternative energy. Wind is one of the most potential sources of energy in Indonesia. Savonius wind turbine is a turbine that has a rotor in vertical position and this type of turbine is easily made by citizen. The weakness of Savonius wind turbine is it has low efficiency. The torque and rotation generated by Savonius wind turbine is caused by the difference of the drag force between advancing blade and returning blade. The way to improve the performance of Savonius wind turbine can be made by placing an obstacle plate in front of returning blade of the turbine.

This study used axial fan as source of air flow with honeycomb as flow rectifier mounted 600 mm from the face

of the axial fan which used. The velocities were taken from variation of Reynolds Number 30.000, 60.000 and 90.000 with a velocity value of 2,48 m/s, 4,96 m/s and 7,45 m/s that measured by Anemometer. The values of air flow velocity were obtained based on freestream velocity and characteristic length of wind turbine. This study was using specimens of 101,6 mm and 300 mm, blade diameter and turbine height respectively that each of them was placed 3500 mm from the face of axial fan. The obstacle plate used was having width, height and thickness respectively 143,6 mm, 300 mm and 3 mm which located in front of returning blade with angle from 0^0 to 90^0 . In terms of measuring the rotation of turbine and dynamic torque, this study used Tachometer and Dynamometer respectively.

From this experiment can be calculated the coefficient of performance. The result obtained from this study is obstacle plate with ratio $L/D = 1,414$ has the effective angle placement at 45^0 , and increasing about 1,85 times. The effective angle for static torque at 30^0 in Reynolds Number value of 90.000 with increasing about 2,6 0 times.

Key Words : obstacle's plate, rotation of turbine, static torque 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. Tak lupa 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. Keluarga penulis, Papa Prasetyo, Mama Tuti Heryati, dan adik Shadam atas segala kasih sayang, dukungan, dan doa yang selalu dipanjatkan.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA, selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah mencurahkan ilmu, perhatian, waktu, tenaga, bimbingan dan arahan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. 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.
4. Bapak Alief Wikarta, S.T., MSc.Eng. Ph.D selaku dosen wali penulis yang telah banyak memberikan perhatian, pelajaran, waktu, tenaga dan masukan yang membangun hingga penulis mampu mengembangkan diri selama berkuliah di ITS
5. 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.
6. 3 idiots, Fanny Shafira, Dilla Ari Alfianty, sahabat penulis sejak duduk dibangku SMP hingga seterusnya yang selalu membantu, mendukung dan senantiasa mendengarkan cerita penulis dalam segala kegiatan.

7. Yonisha Dyah Amalia, Fahri Dirgantara dan Putri Widya Sari teman baik penulis sejak SMA hingga seterusnya yang selalu menghibur penulis dan mendukung penulis.
8. Anadhika Trisetya, yang selalu setia mendampingi penulis dalam setiap keadaan.
9. Vemba, Delia, unzila, ade, teuku, yudy, diyan, yorgie, teman penulis yang selalu menghibur dan menemani penulis dalam keseharian.
10. Linta Atina Rahmah dan Diastanto Eka teman terbaik dari sejak maba yang selalu ada disetiap kondisi penulis.
11. Nadya Fairuz, selaku teman penulis dari maba yang membantu penulis dalam menyelesaikan persiapan bahasa Inggris S2 penulis dan juga membantu penulis di akhir semester.
12. Tim Savonius kelompok 3, erik, ulfah, ubed, anas, citro, aip, yang bersama-sama menyelesaikan Tugas Akhir ini.
13. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan perkuliahan S1 yang tidak dapat penulis sebutkan 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 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR SIMBOL	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	5
1.3. Batasan Masalah	7
1.4. Tujuan Penelitian	8
1.5. Manfaat Penelitian	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	10
2.1. Turbin Angin.....	10
2.2. Turbin Angin Savonius	13
2.3. Gaya Drag	14
2.4. Daya Turbin	16

2.5. <i>Coefficient of Power</i>	18
2.6. Bilangan Reynolds	19
2.7. <i>Blockage Ratio Correction</i>	19
2.8. <i>Tip Speed Ratio</i>	21
2.9. Penelitian Terdahulu	22
2.9.1. Membandingkan Performa Turbin Savonius Dua Sudu dan Tiga Sudu Dengan Pemberian Plat Penggangu	22
2.9.2. Analisa Performa Pemberian Plat Penghalang Turbin Savonius Menggunakan Simulasi CFD	27
2.9.3. Studi Eksperimen Pengaruh Sudut Plat Penghalang didepan Returning Blade Turbin Savonius Terhadap Performa Turbin dengan (L/D = 1,4144).....	29

BAB III METODE PENELITIAN	32
3.1 Analisa Dimensi	32
3.1.1. Analisa <i>Dimensi Coefficient of</i> <i>Power</i>	33
3.2. Peralatan	37
3.2.1. <i>Axial Fan</i>	37
3.2.2. Benda Uji	39
3.2.3. Penyangga Turbin Savonius	41
3.2.4. Honeycomb	42
3.2.5. Alat Ukur	43
3.3. Prosedur Penelitian	53
3.4. Flowchart Penelitian	56
3.5. Pelaksanaan Penelitian	59

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	61
4.1 Contoh Perhitungan	61
4.1.1. Perhitungan Bilangan Reynolds.	62
4.1.2. Perhitungan <i>Coefficient of Power</i> (CoP)	64
4.1.3. Perhitungan <i>Tip Speed Ratio</i> (λ) ..	65
4.2. Analisa Performa Turbin Savonius Tanpa Plat Penghalang	65
4.2.1. Analisa Nilai Putaran Terhadap Variasi Reynolds <i>Number</i> pada Turbin Angin Savonius Tanpa Plat Penghalang	65
4.2.2. Analisa Nilai Torsi Statis Terhadap Variasi Reynolds <i>Number</i> pada Turbin Angin Savonius Tanpa Plat Penghalang	67
4.2.3. Analisa Nilai <i>Coefficient of Power</i> Terhadap Variasi Reynolds <i>Number</i> pada Turbin Angin Savonius Tanpa Plat Penghalang	68
4.3. Analisa Nilai Putaran yang Dihasilkan Turbin Angin Savonius Terhadap Sudut Plat Penghalang	70
4.4. Analisa Nilai Torsi Statis yang Dihasilkan Turbin Angin Savonius Terhadap Sudut Plat Penghalang	75
4.5. Analisa Nilai Torsi Statis Terhadap Sudut Bukaan Sudu Turbin Angin Savonius	

Terhadap Plat Penghalang pada Sudut Optimum	79
4.6. Analisa Nilai <i>Coefficient of Power</i> yang dihasilkan Turbin Angin Savonius Terhadap Sudut Plat Penghalang	81
4.7. Analisa <i>Coefficient of Power</i> pada Sudut 45^0 Terhadap Nilai <i>Tip Speed Ratio</i>	86
4.8. Analisa Simulasi Aliran pada Turbin Angin Savonius	87
BAB V PENUTUP	96
5.1 Kesimpulan	96
5.2 Saran	97
DAFTAR PUSTAKA	99
LAMPIRAN	102
BIODATA PENULIS	108

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pembagian Jenis Turbin.....	11
Gambar 2.2	Penamaan Sudu Turbin.....	13
Gambar 2.3	<i>Free body diagram Brake Dynamometer</i> ..	16
Gambar 2.4	<i>Blockage Correction Factor</i> untuk berbagai bentuk penghalang pada <i>Wind Tunnel</i>	20
Gambar 2.5	Grafik nilai <i>coefficient of power</i> sebagai fungsi <i>tip speed ratio</i> untuk berbagai turbin angin.....	21
Gambar 2.6	Skema susunan plat penghalang pada turbin Savonius dua sudu dan tiga sudu	23
Gambar 2.7	Perbandingan struktur aliran pada saat <i>self starting</i>	24
Gambar 2.8	Grafik performa turbin Savonius dengan dua sudu sebelum dan setelah diberi plat penghalang	25
Gambar 2.9	Grafik performa turbin Savonius dengan tiga sudu sebelum dan setelah diberi plat penghalang	26
Gambar 2.10	Skema turbin Savonius dengan sudu setengah lingkaran dan sudu optimal	27
Gambar 2.11	Grafik perbandingan koefisien torsi dan koefisien daya turbin Savonius dengan pemberian plat penghalang menggunakan sudu setengah lingkaran dan optimal	28
Gambar 2.12	Grafik perbandingan nilai <i>coefficient of power</i> yang dihasilkan turbin Savonius sebagai fungsi variasi sudut plat penghalang	29
Gambar 3.1	Skema Penelitian	32

Gambar 3.2	<i>Axial Fan</i>	38
Gambar 3.3	Skema Penelitian dan dimensi alat	39
Gambar 3.4	Skema Turbin Angin Savonius	40
Gambar 3.5	Plat Penghalang	41
Gambar 3.6	Penyangga turbin angin Savonius	42
Gambar 3.7	<i>Honeycomb</i>	42
Gambar 3.8	<i>Tachometer</i>	44
Gambar 3.9	Skema pengukuran <i>brake dynamometer</i> ...	45
Gambar 3.10	Pegas	46
Gambar 3.11	Benang nilon DAMYL	47
Gambar 3.12	Timbangan Shimadzu dan Beban	48
Gambar 3.13	Pelumas serbaguna	48
Gambar 3.14	<i>Anemometer</i>	50
Gambar 3.15	<i>Torque Meter</i>	51
Gambar 3.16	SANWA PC7000 Digital Multimeter	52
Gambar 3.17	<i>Flowchart</i> pengambilan data	56
Gambar 4.1	Grafik putaran turbin Savonius tanpa plat penghalang terhadap bilangan Reynolds	66
Gambar 4.2	Grafik torsi statis turbin Savonius tanpa plat penghalang terhadap bilangan Reynolds	67
Gambar 4.3	Grafik nilai COP turbin angin terhadap Bilangan Reynolds	69
Gambar 4.4	Grafik nilai putaran yang dihasilkan terhadap sudut penghalang	71
Gambar 4.5	Grafik peningkatan nilai putaran yang dihasilkan turbin angin terhadap sudut plat penghalang	72

Gambar 4.6	Grafik nilai torsi statis yang dihasilkan turbin angin terhadap sudut penghalang....	75
Gambar 4.7	Grafik nilai peningkatan torsi statis yang dihasilkan turbin terhadap sudut penghalang	77
Gambar 4.8	Grafik nilai peningkatan torsi statis yang dihasilkan bukaan sudu	80
Gambar 4.9	Grafik nilai COP terhadap sudut plat	82
Gambar 4.10	Grafik peningkatan COP terhadap Sudut plat.....	83
Gambar 4.11	Grafik nilai COP terhadap berbagai Bilangan Reynolds.....	85
Gambar 4.12	Grafik nilai COP terhadap nilai TSR.....	86
Gambar 4.13	Geometri turbin Savonius pada Simulasi ..	88
Gambar 4.14	Simulasi turbin tanpa plat pada Reynolds 90.000	88
Gambar 4.15	Simulasi turbin dengan plat penghalang pada posisi sudut 0°	91
Gambar 4.16	Simulasi turbin dengan plat penghalang pada posisi sudut 45°	94

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Data koefisien drag pada berbagai bidang permukaan ($Re > 10^3$).....	8
Tabel 3.1	Spesifikasi <i>Axial Fan</i> CKE SPV-18	
Tabel 3.2	Spesifikasi Tachometer OMEGA seri HHT12	
Tabel 3.3	Spesifikasi Pegas.....	
Tabel 3.4	Spesifikasi Benang Nilon.....	
Tabel 3.5	Spesifikasi Timbangan Massa	
Tabel 3.6	Spesifikasi Pelumas REXCO 50	
Tabel 3.7	Spesifikasi OMEGA HHF141 Digital Anemometer	
Tabel 3.8	Spesifikasi Torque meter LUTRON mode TQ-8800.....	
Tabel 3.9	Spesifikasi Multimeter	
Tabel 3.10	<i>Table planner</i> penelitian.....	

DAFTAR SIMBOL

D	diameter sudu turbin Savonius (m)
L	lebar plat penghalang (m)
H	tinggi turbin Savonius (m)
b	diameter overlap (m)
Θ	sudut plat penghalang (deg)
α	Bukaan sudut sudu turbin (deg)
S	lebar proyeksi plat penghalang (m)
t	tebal plat penghalang (m)
z	jarak antara poros turbin dan poros plat penghalang (m)
j	tinggi plat penghalang (m)
d	panjang karakteristik turbin (m)
C_D	<i>Coefficient Drag</i>
F_D	Gaya Drag
P_{out}	Power Output
P_{in}	Power Input
τ	Torsi dinamis turbin (Newton.meter)
ω	Putaran dari turbin (rad/detik)
\dot{m}	laju alir massa angin (kg/s)
U	kecepatan angin (m/s)
ρ	densitas udara (kg/m ³)
Q	debit angin (m ³ /s)
A	<i>cross sectional area</i> (m ²)
CoP	<i>coefficient of power</i>
λ	<i>tip speed ratio</i>
r	Jari-jari putaran turbin (m)
μ	Viskositas dinamis fluida
Re	Reynolds Number

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara berkembang dengan kebutuhan akan energi fosil yang cukup tinggi. Terlihat dari kebutuhan hidup masyarakat sehari-hari disertai dengan perkembangan pembangunan di bidang teknologi yang semakin hari perkembangannya semakin cepat. Namun, berdasarkan *Outlook Energi Indonesia 2014*, disebutkan bahwa pada tahun 2014, Indonesia memiliki cadangan energi fosil yang berupa minyak bumi sebesar 3,6 miliar barel yang diperkirakan akan habis dalam waktu 12 tahun jika tidak ada penemuan cadangan baru lagi. Dengan demikian, semakin meyakinkan bahwa Indonesia merupakan salah satu negara yang akan mengalami krisis energi, khususnya energi fosil. Bahkan beberapa ahli berpendapat, dengan pola konsumsi seperti sekarang, maka dalam waktu 50 tahun cadangan minyak bumi dunia akan habis. Sebagai contoh, pada tahun 1970 negara Jerman mengkonsumsi minyak bumi sekitar 75 persen dari total konsumsi energinya, namun pada tahun 1990 konsumsi tersebut menurun hingga 50 persen dikarenakan mulai beralihnya pada penggunaan energi alternatif menurut **Pinske et al (1993)**. Sehingga, solusi dari permasalahan krisis energi tersebut adalah dengan mulai beralih pada penggunaan energi alternatif yang berpotensi untuk menjadi energi yang mudah dipakai dan didapat oleh masyarakat.

Energi alternatif yang sangat berpotensi di Indonesia adalah energi angin. Dikarenakan, Indonesia memiliki kecepatan angin berkisar antara 2 m/s hingga 7 m/s. Hal tersebut dinilai cocok untuk dijadikan pembangkit tenaga angin skala kecil (10kW) dan menengah (10-100kW) yang

dapat diperuntukan untuk penggunaan lampu, pompa dan alat-alat elektronik lainnya. Pusat tenaga angin sebagian besar masih berada di Nusa Tenggara Timur yang memiliki kecepatan rata-rata angin lebih dari 5m/s. Menunjukkan bahwa potensi energi angin di Indonesia mencapai 9,286 MW dimana penggunaannya hingga tahun 2004 masih kurang dari 0,5 MW berdasarkan data dari ***Outlook Energi Indonesia 2014***. Energi angin menjadi solusi energi alternatif yang tepat dikarenakan pemanfaatannya tidak menyebabkan polusi, sumber energinya melimpah dan dapat dikonversi kedalam bentuk energi lain misalnya dalam bentuk energi listrik. Dalam pemanfaatannya, energi listrik dapat dihasilkan dengan menggunakan turbin angin dan generator. Aliran udara menjadi salah satu faktor untuk memutar turbin yang kemudian putaran turbin akan ditransmisikan untuk memutar generator yang dapat menghasilkan energi listrik. Turbin angin yang dapat digunakan untuk transmisi energi angin pada generator salah satunya adalah turbin Savonius.

Turbin Savonius merupakan pembangkit yang dapat diperbaharui karena angin sebagai energi kinetik akan meniup kincir angin sehingga sudu dan rotor bergerak. Dimana, sudu dan rotor tersebut akan berputar pada porosnya yang menyebabkan putaran tersebut dapat mempengaruhi kumparan stator yang ada dibawah rotor. Oleh karena itu, akan timbul perubahan energi mekanik menjadi energi listrik. Turbin Savonius, pertama kali dikembangkan oleh *engineer* asal Finlandia, Singuard Savonius pada tahun 1920. Bermula dari turbin Savonius konvensional yang sederhana dimana plat silinder dibelah menjadi dua bagian yang bagian tengahnya disatukan sehingga membentuk huruf S. Terdapat dua jenis blade pada turbin Savonius yaitu, *advancing blade*

dan *returning blade*. Berdasarkan ilmu aerodinamika, terjadi perbedaan gaya *drag* pada kedua blade tersebut dikarenakan oleh bentuk kedua blade yang berbeda terhadap aliran angin. Sehingga perbedaan tersebut yang membuat terjadinya torsi yang mampu memutar turbin Savonius berdasarkan *The Encyclopedia of Alternative Energy and Sustainable Living: Wind Turbine*

Dalam penelitian ini, ada beberapa referensi terhadap penelitian sebelumnya yaitu penelitian yang dilakukan oleh **M.H. Mohamed et al (2010)** dimana pada penelitian ini, peneliti membandingkan performa dari turbin Savonius yang menggunakan dua sudu dengan tiga sudu dalam satu software simulasi *Computational Fluid Dynamics*. Pada simulasi yang dilakukan, peneliti menambahkan penghalang plat didepan *returning blade* dengan menentukan sudut pada penempatan plat yang digunakan. Selain itu, variasi terhadap *tip speed ratio* juga digunakan dalam penelitian ini. Dengan kecepatan 10 m/s pada saat proses simulasi, didapatkan hasil, bahwa dengan pemberian plat penghalang dapat meningkatkan koefisien daya pada turbin Savonius dengan dua sudu sebesar 27,3% dan 27,5% pada turbin Savonius dengan tiga sudu.

Pada penelitian selanjutnya, **M.H Mohamed et al (2010)** juga melakukan penelitian kembali dengan menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamics*. Pada simulasi ini, peneliti menggunakan variasi dua sudu dengan bentuk yang berlainan dengan plat penghalang didepan *returning blade*. Dimana sudu pertama dengan bentuk yang optimal dan sudu yang kedua berbentuk setengah lingkaran. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa turbin Savonius dengan sudu optimal yang diberi penghalang akan mengalami kenaikan daya output sebesar 38,9% pada nilai *tip*

speed ratio 0,7 dan kenaikan torsi sebesar 75,4% pada *tip speed ratio* 1,4. Dengan hasil yang didapat, menunjukkan turbin Savonius yang diberi penghalang berbentuk sudu optimal memiliki nilai koefisien torsi, koefisien daya dan koefisien torsi statis yang lebih besar daripada turbin yang tanpa penghalang didepan *returning blade* dan dengan bentuk sudu setengah lingkaran.

Selanjutnya oleh **Yoga Priandika (2016)** dimana percobaan yang dilakukan juga menggunakan plat penghalang pada *returning blade* turbin Savonius. Pada percobaan yang dilakukan, digunakan ukuran penghalang dengan $L/D = 1,4144$ dan ditinjau pula dengan variasi sudut pada penempatan plat penghalang serta variasi nilai Reynolds Number. Dari percobaan yang dilakukan dengan memvariasikan nilai Reynolds Number dan sudut, didapatkan bahwa plat penghalang dengan nilai $L/D = 1,4144$ mempunyai nilai paling efektif untuk meningkatkan putaran turbin Savonius bila diletakkan pada sudut 40° dan dengan Reynolds Number 60.000 dengan kenaikan mencapai 1,67 kali dibandingkan tanpa plat penghalang. Selanjutnya dilihat menggunakan Reynolds Number 90.000 untuk melihat nilai torsi statis dimana plat penghalang dengan $L/D=1,4144$ paling efektif digunakan untuk meningkatkan torsi statis turbin Savonius bila diletakkan pada sudut 0° dan Reynolds Number 90.000 dengan kenaikan mencapai 1,5 kali dibandingkan tanpa menggunakan plat penghalang. Plat penghalang 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 penghalang. Pada penelitian ini terdapat kekurangan yaitu, kurang mempertimbangkan perbandingan

besar benda dengan *wind tunnel* yang digunakan sehingga menimbulkan efek *blockage* yang besar. Oleh karena itu pada penelitian selanjutnya akan digunakan eksternal *flow* dari *axial fan* untuk menghindari efek *blockage* dari *wind tunnel* dengan benda uji.

Dengan beberapa referensi yang telah disebutkan, maka perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut mengenai performa turbin Savonius. Dalam penelitian ini, dilakukan peningkatan turbin Savonius dengan penghalang berupa plat yang divariasikan dengan sudut posisi dari plat yang digunakan. Dimana, plat tersebut tegak lurus dengan aliran udara dan digunakan sudut dengan variasi $0^\circ \leq \Theta \leq 90^\circ$.

1.2 Perumusan Masalah

Pemilihan turbin Savonius, yang merupakan salah satu kelompok kincir angin bersumbu vertikal, karena memiliki keunggulan dimana turbin ini tidak perlu diubah posisinya jika arah angin berubah, sedangkan turbin bersumbu horizontal memerlukan mekanisme tambahan untuk menyesuaikan rotor turbin dengan arah angin. Selain itu, keunggulan dari turbin Savonius yaitu desainnya sederhana dan mudah untuk dibuat dengan biaya yang relatif murah. Namun, efisiensi dari turbin Savonius ini rendah sehingga perlu dilakukan upaya untuk meningkatkan performa dari turbin Savonius, salah satunya dengan penambahan plat penghalang didepan *returning blade* turbin. Pemberian plat ini tidak tanpa tujuan, karena dengan pemberian plat ini mampu memperkecil gaya drag yang terjadi pada *returning blade*. Dengan memperkecil gaya *drag* pada *returning blade*, maka didapatkan selisih gaya *drag* antara *advancing blade* dan *returning blade* menjadi lebih besar. Jika selisih ini semakin besar, maka torsi pada turbin

Savonius semakin besar. Hal ini dapat memperbesar daya yang dihasilkan pada turbin Savonius.

Plat penghalang tidak hanya dipasang tegak lurus dengan arah *returning blade* tetapi juga diletakan dengan berbagai variasi sudut. Diharapkan dengan penempatan plat dengan berbagai variasi sudut ini tidak hanya untuk menghalangi aliran menuju *returning blade*, tetapi mampu menjadi alat bantu untuk mengarahkan aliran fluida. Dimana aliran fluida yang mengalir menuju *returning blade* akan menabrak plat penghalang terlebih dahulu sehingga dapat diarahkan menuju *advancing blade*. Aliran fluida pada *advancing blade* akan semakin besar dan gaya *drag* yang menabrak *advancing blade* menjadi lebih besar. Besarnya gaya *drag* yang dihasilkan oleh *advancing blade* membuat selisih gaya *drag* antara *advancing blade* dan *returning blade* menjadi lebih besar. Hal ini menyebabkan torsi pemutar rotor turbin Savonius akan menjadi lebih besar dan daya juga menjadi lebih besar.

Pada penelitian turbin Savonius ini, penggunaan dua sudu dan penghalang berupa plat persegi panjang akan divariasikan dengan sudut penempatan plat penghalang dan bidang tegak lurus dari arah aliran fluida. Hipotesa awal yang diharapkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pemberian plat penghalang di depan *returning blade*, akan memperkecil gaya drag pada *returning blade* sehingga mempengaruhi nilai torsi dari turbin Savonius. Dimana, dengan gaya *drag* pada *returning blade* mengecil, maka dengan demikian selisih gaya drag antara *advancing blade* dan *returning blade* menjadi lebih besar dan torsi pada turbin Savonius juga akan membesar. Peningkatan torsi ini mengakibatkan daya

membesar dan mengakibatkan kenaikan pada performa tubin angin.

2. Variasi sudut terhadap posisi plat penghalang didepan *returning blade* akan menyebabkan aliran lebih banyak mengarah pada *advancing blade*. Sehingga akan menambah gaya *drag* pada sisi *advancing blade*. Selisih gaya *drag* antara *returning blade* dan *advancing blade* akan semakin besar sehingga mencapai sudut optimum. Dilain sisi, semakin besar sudut bukaan oleh plat penghalang yang melebihi sudut optimumnya, akan menyebabkan selisih gaya drag kedua sudu menurun. Hal ini karena timbulnya gaya *drag* pada *returning blade* oleh angin yang menerobos di sisi ujung plat penghalang yang semakin membuka.

Untuk membuktikan hipotesa diatas, maka dilakukan penelitian lanjutan dengan menggunakan turbin Savonius berdiameter sudu (D) = 101,6 mm serta plat penghalang dengan nilai rasio $L/D = 1,414$. Sudut variasi yang dipakai adalah $0^\circ \leq \Theta \leq 90^\circ$ pada nilai Reynolds Number 30.000, 60.000, dan 90.000.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan yang digunakan dalam penelitian ini agar tercapai tujuan yang diharapkan yaitu :

1. Aliran udara diasumsikan *uniform*, *steady* dan *incompressible*.
2. Aliran yang digunakan hanya dari satu arah.
3. Perpindahan panas yang terjadi karena gesekan diabaikan.
4. Variasi sudut kemiringan antara plat penghalangan dengan *returning blade* adalah $0^\circ \leq \Theta \leq 90^\circ$ pada nilai Reynolds Number 30.000, 60.000, dan 90.000.

5. Penelitian menggunakan turbin angin jenis Savonius dengan nilai rasio perbandingan $L/D = 1,414$.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian pemberian plat penghalang terhadap turbin Savonius adalah untuk mendapatkan performa yang optimal dengan menganalisa pengaruh variasi sudut antara $0^\circ \leq \Theta \leq 90^\circ$ pada nilai Reynolds Number 30.000, 60.000, dan 90.000 di depan *returning blade* dengan plat penghalang yang memiliki nilai perbandingan $L/D = 1,414$ dengan mengukur dan menganalisa:

1. Torsi dinamis dan putaran dari turbin angin Savonius saat turbin dibiarkan berputar dimana diberi aliran udara dengan nilai Reynolds 30.000, 60.000 dan 90.000.
2. Torsi statis dari turbin Savonius saat diberi aliran udara dengan nilai Reynolds 30.000, 60.000 dan 90.000.
3. *Coefficient of Power* dari turbin Savonius saat diberi aliran udara dengan nilai Reynolds 30.000, 60.000 dan 90.000.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang didapatkan dari penelitian penambahan plat penghalang pada sisi *returning blade* turbin Savonius adalah:

1. Dapat menjelaskan pengaruh yang diberikan dengan pemberian plat penghalang terhadap nilai torsi, putaran dan *coefficient of power* turbin Savonius
2. Menjelaskan pengaruh yang diberikan dengan memberikan variasi terhadap sudut antara plat penghalang dan bidang tegak lurus aliran fluida terhadap nilai torsi, putaran serta *coefficient of power*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

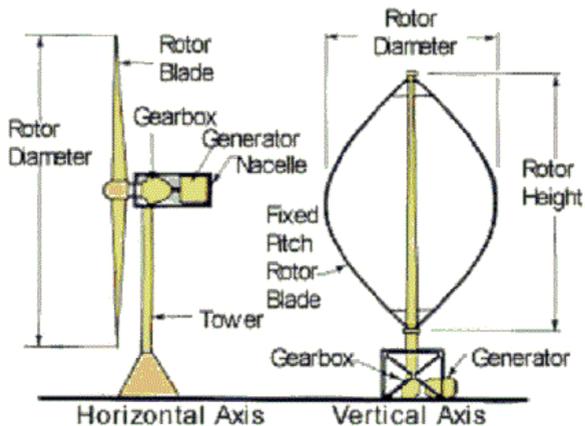
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Turbin Angin

Turbin angin merupakan salah satu perkembangan dari sebuah kincir angin, yang digunakan untuk keperluan pertanian pada mulanya. Kemudian, seiring berjalannya waktu, penggunaannya bertambah besar dengan adanya penyedia energi tenaga listrik, walaupun jumlahnya tidak begitu besar. Turbin angin pertama yang menghasilkan energi listrik dibangun pada bulan Juli tahun 1887 oleh James Blyth dari Skotlandia, diikuti dengan Charles Bush pada tahun 1888 dari amerika serikat dan terakhir di ikuti oleh Marcellus Jacobs.

Pada perkembangannya, turbin angin dibedakan menjadi dua tipe yaitu, Horizontal-axis Wind Turbine yang memiliki *shaft* rotor utama dengan generator pada puncak atas dari menara, dan diarahkan menghadap arah angin. Selanjutnya adalah Vertical-axis Wind Turbine yang memiliki *shaft* rotor yang dipasang secara vertikal. Pada gambar 2.1 dibawah ini merupakan perbedaan diantara kedua tipe turbin angin.



Gambar 2.1 *Horizontal Axis Wind Turbine dan Vertical Axis Wind Turbine*
(Energy Groove : Wind Turbin)

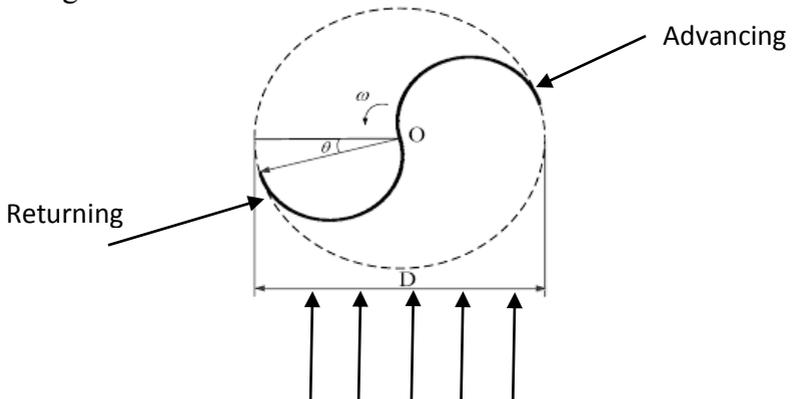
Horizontal Axis Wind Turbine adalah turbin dengan posisi poros sejajar terhadap arah gerak angin dan posisi *blade* turbin ini tegak lurus terhadap arah angin. *Blade* yang digunakan pada turbin angin jenis ini merupakan airfoil yang jika terkena aliran angin akan menimbulkan gaya angkat (*lift*). Dimana gaya tersebut yang menimbulkan putaran pada turbin. Jumlah *blade* yang digunakan disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi dari angin. Jenis turbin ini sangat cocok untuk kecepatan angin yang sedang sampai dengan tinggi. Turbin ini memiliki nilai efisiensi yang tinggi. Selain itu, semakin tinggi menara turbin maka akan semakin besar pula kecepatan putar dari turbin jenis HAWT ini. Namun, disisi lain jika semakin tinggi menara dari turbin maka akan semakin panjang pula sudu dari turbin. Sehingga, biaya

instalasinya akan semakin besar serta konstruksi dari menara juga akan lebih berat karena harus menyangga gearbox dan sudu dari turbin HAWT yang diletakan diatas menara. Selain itu pada turbin HAWT memiliki mekanisme kontrol untuk membelokan poros turbin agar mampu sejajar dengan arah angin.

Vertical Axis Wind Turbine adalah turbin angin dengan poros utama yang letaknya tegak lurus dengan arah datangnya angin. Dimana pada turbin ini gerakan poros dan sudu dari turbin sejajar dengan arah dari datangnya angin. Turbin ini memiliki kelebihan utama dibanding HAWT yaitu turbin ini tidak harus diarahkan searah dengan datangnya angin. Sehingga, sangat berguna untuk kondisi lingkungan yang memiliki arah angin berubah. Disamping itu, kelebihan VAWT dibandingkan turbin HAWT adalah peletakan *gearbox* dan generator dapat diletakan didekat tanah dikarenakan sumbu pada turbin ini vertikal. Dengan peletakan *gearbox* dan generator didekat tanah, meminimalisir biaya perawatan dan konstruksi dari menara turbin. Turbin jenis ini juga memiliki keunggulan yaitu sudu yang digunakan mudah dibuat dan tidak memakan biaya yang besar. Namun, kekurangan dari turbin ini adalah efisiensi dari turbin ini rendah dan dengan kecepatan angin yang rendah akan menyebabkan putaran yang rendah pula. Sampai saat ini ada tiga jenis VAWT diantaranya adalah Savonius, Darius dan H. Turbin Savonius menggunakan gaya *drag* sebagai gaya utama pemutar turbin, sedangkan Darius dan H menggunakan gaya *lift* sebagai gaya utama pemutarnya.

2.2 Turbin Angin Savonius

Turbin angin VAWT jenis Savonius ini merupakan turbin yang memanfaatkan gaya *drag* sebagai gaya utama dalam menggerakkan rotor. Turbin ini ditemukan oleh Sigurd Savonius dari Finlandia, dan dipatenkan pada tahun 1922. Desainnya dibentuk menyerupai huruf S, dimana pada pada sudunya terdapat cekungan yang dapat dibedakan menjadi dua jenis *blade* yaitu *advancing blade* dan *returning blade*. Perbedaan dari kedua *blade* ini adalah terletak dari cekungan bagian dalam sudu turbin. *Advancing blade* memiliki cekungan bagian dalam sudu turbin yang tegak lurus dengan arah datangnya arah aliran. Sedangkan sisi yang membelakanginya adalah *returning blade*. Pada saat turbin ini bekerja terjadi perbedaan nilai yang disebabkan oleh bentuk kedua *blade* terhadap aliran angin. Perbedaan gaya *drag* pada kedua *blade* tersebut menyebabkan adanya torsi yang dapat memutar turbin Savonius. Torsi yang dikalikan dengan kecepatan angular turbin maka akan mendapatkan daya dari turbin. Sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 2.2 sebagai berikut.



Gambar 2.2 Penamaan Sudu Turbin Savonius

2.3 Gaya Drag

Gaya *drag* merupakan suatu komponen gaya yang berada disuatu bodi yang sejajar dengan arah gerak relatifnya. Untuk mendapatkan nilai gaya *drag*, dibutuhkan suatu eksperimen yang dikaitkan dengan mekanika fluida. Dimana, gaya *drag* dibentuk dari suatu fungsi seperti fungsi dibawah ini.

$$F_D = f_1(d, V, \mu, \rho) \quad (2.1)$$

Dengan teori Buckingham Pi, sebuah bilangan yang tak berdimensi maka fungsi diatas akan berubah menjadi.

$$\frac{F_D}{\rho V^2 d^2} = f_2\left(\frac{\rho V d}{\mu}\right) \quad (2.2)$$

diketahui d^2 sebanding dengan luasan yang melintang ($A=\pi d^2/4$). Sehingga, persamaan diatas menjadi

$$\frac{F_D}{\rho V^2 d^2} = f_3\left(\frac{\rho V d}{\mu}\right) = f_3(Re) \quad (2.3)$$

Pada persamaan (2.3) diperoleh untuk bodi berbentuk bola. Namun, persamaan tersebut masih dapat digunakan untuk *incompressible flow* yang melewati bodi selain bola. Panjang karakteristik pada persamaan Reynolds Number bergantung pada bentuk dari bodi tersebut.

Koefisien *drag* (C_D) didefinisikan sebagai

$$C_D \equiv \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} \quad (2.4)$$

Angka $\frac{1}{2}$ ditambahkan sebagai faktor gesekan yang didefinisikan pada persamaan (2.3) dengan maksud untuk membentuk tekanan dinamik. Sehingga persamaan (2.3) bisa ditulis seperti

$$C_D = f(Re) \quad (2.5)$$

Dari persamaan diatas diketahui untuk 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). Nilai koefisien *drag* pada berbagai permukaan benda dapat dilihat pada tabel 2.1 yaitu tabel yang menjelaskan nilai Re pada suatu nilai C_d tertentu.

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

Sebuah turbin mampu mengkonversi energi angin menjadi sebuah energi yang mampu memutar poros pada turbin. Perhitungan daya yang dihasilkan oleh turbin menggunakan alat ukur torsi meter dinamis dan *tachometer* (*power output*) dan daya yang berhembus dari turbin (*power input*) yang berasal dari energi kinetik pada umumnya akan dituliskan secara matematis sebagai berikut :

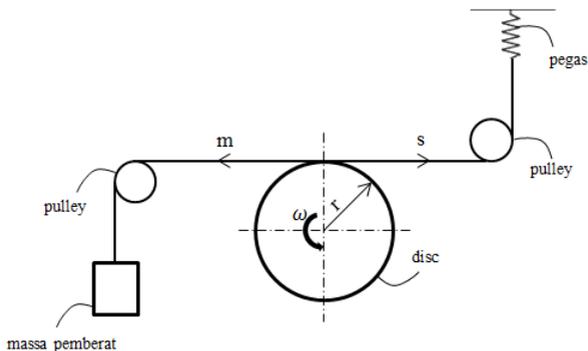
$$P_{\text{out}} = \tau_{\text{dinamis}} \cdot \omega \quad (2.6)$$

Dengan :

τ : Torsi dinamis turbin yang diukur dengan Brake Dynamometer (Newton.meter)

ω : Putaran dari turbin (rad/detik)

Adapun *Brake dynamometer* tidak dapat menyajikan nilai torsi dinamis secara langsung. Namun pengukuran yang dilakukan pada *brake dynamometer* dapat diukur melalui pengukuran massa pemberat dan massa yang terbaca pada pegas. Kemudian nilai torsi dinamis harus dihitung berdasarkan *Free Body Diagram* pada gambar 2.3.



Gambar 2.1 FBD *Brake Dynamometer*

Melalui Gambar 2.3, nilai torsi dinamis dari turbin angin Savonius dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$\tau = \{(s - m)g\} \times r \quad (2.7)$$

dimana:

- s = massa yang terbaca pada pegas (kg)
 - m = massa beban (kg)
 - g = gravitasi (m/s^2)
 - r = jari-jari silinder yang menerima beban (m)
- sehingga persamaan 2.6 menjadi:

$$P_T = \{(s - m)g\} \cdot r \cdot \omega \quad (2.8)$$

Dimana diketahui bahwa,

$$\dot{m} = \rho \cdot Q = \rho \cdot U \cdot A \quad (2.9)$$

- \dot{m} : laju alir massa angin (kg/s)
- U : kecepatan angin (m/s)
- ρ : densitas udara (kg/m^3)
- Q : debit angin (m^3/s)
- A : cross sectional area (m^2)

Sehingga daya angin (P_{in}) terhadap turbin berdasarkan rumus energi kinetik adalah:

$$P_{in} = \frac{1}{2}(\rho AU)(U^2) = \frac{1}{2}\rho AU^3 \quad (2.10)$$

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

$$A = d \cdot H = (2 \cdot D - b) \cdot H \quad (2.11)$$

Dengan :

A = Luas penampang aliran

d = Panjang karakteristik

b = Diameter overlap

D = Diameter sudu turbin

H = Tinggi turbin

2.5 Coefficient of Power

Coefficient of Power (CoP) merupakan perbandingan antara daya yang dihasilkan oleh turbin angin (*power output*) dan daya angin yang berhembus (*power input*). Berdasarkan persamaan daya diatas dapat diketahui bahwa nilai *Coefficient of Power* dapat dituliskan sebagai berikut :

$$C_{op} = \frac{\text{power output}}{\text{power input}} = \frac{\tau_{\text{dinamis}} \cdot \omega}{\frac{1}{2} \rho A U^3} \quad (2.12)$$

$$C_{op} = \frac{\{(s-m)g\} \cdot r \cdot \omega}{\frac{1}{2} \rho A U^3} \quad (2.13)$$

Dengan :

s = beban pegas (N.cm)

m = massa pembebanan (kg)

g = gravitasi (N.kg²/m²)

r = jari-jari turbin (m)

n = putaran turbin (rad/s)

2.6 Bilangan Reynolds

Suatu aliran memiliki kondisi tertentu seperti laminar, turbulen maupun transisi. Kondisi tersebut dapat diketahui jenisnya dengan sebuah bilangan yang dinamakan Bilangan Reynolds untuk aliran *incompressible*. Bilangan ini merupakan bilangan tak berdimensi, dimana bilangan ini merupakan perbandingan antara gaya inersia bodi terhadap gaya geser yang ditimbulkan oleh sebuah fluida.

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

Pada persamaan diatas dapat diketahui bahwa densitas fluida (ρ), kecepatan aliran fluida (U), panjang karakteristik dari turbin Savonius (d) dan viskositas dinamis fluida (μ). Dimana nilai (d) merupakan nilai yang didapatkan dari persamaan:

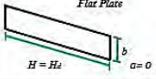
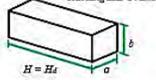
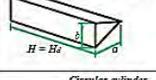
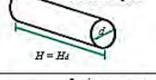
$$d = 2 \cdot D - b \quad (2.15)$$

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

2.7 Blockage Ratio Correction

Rasio *frontal area* dari bodi dan *cross section* area dari *windtunnel* yang digunakan merupakan definisi dari *Blockage ratio*. *Blockage* dapat terjadi pada sebuah aliran yang berada dalam *windtunnel* dengan ukuran yang terbatas saat melakukan eksperimen dengan model uji yang besar. *Blockage ratio correction* yang dibutuhkan adalah kurang dari nilai 10%.

Sedangkan untuk pengujian di bidang *aeronautical* nilai yang dibutuhkan adalah kurang dari 5% (A Filippone et al 1999). *Blockage ratio correction* untuk percobaan pada turbin jenis VAWT sendiri telah diteliti oleh Sandia Laboratories bahwa pada percobaannya pada wind tunnel VAWT di United States dengan dan tanpa penghalang pada windtunnel, *Blockage Ratio* sangat mempengaruhi dan penting untuk analisa performa dari jenis turbin VAWT. Dimana, nilai *Blockage Ratio* yang diizinkan untuk mendapatkan nilai performa terbaik adalah kurang dari 10% pada *closed test-section low speed wind tunnel*. Dibawah ini adalah gambar 2.4 mengenai *Blockage Ratio Correction* untuk berbagai bentuk penghalang.

Body Shape	ϵ ; m ; maximum* S/A	Body Shape	ϵ ; m ; maximum* S/A
 <p>Flat Plate $H = H_1$ $a = 0$</p>	$\epsilon = 0.95$ $m = 1.83$ for S/A ≤ 0.25	 <p>Flat Plate, center mounted</p>	$\epsilon = 2.84 - 0.07H/b$ $m = 3.20 - 0.05H/b$ for $H/b \leq 20$ for S/A ≤ 0.10
 <p>Rectangular Prism $H = H_1$</p>	for $0.2 < a/b < 0.6$ $\epsilon = 1.11 + 0.94a/b$ for $0.75 < a/b < 3$ $\epsilon = 1.11 - 0.14a/b$ for S/A ≤ 0.20	 <p>Flat Plate, surface mounted</p>	$\epsilon = 2.54 - 0.07H/b$ $m = 3.20 - 0.05H/b$ for $H/b \leq 20$ for S/A ≤ 0.10
 <p>Equilateral Prism $H = H_1$</p>	$\epsilon = 0.98$ $m = 2.05$ for S/A ≤ 0.20	 <p>Near-circular, triangular flat plates, $H/b = 1$</p>	Use value for rectangular plate of same H/b for S/A ≤ 0.15
 <p>Circular cylinder, sub-critical flow $H = H_1$</p>	$m = 1.38$ for S/A ≤ 0.20	 <p>Rectangular block</p>	Use value for flat plate of same H/b provided flow reattachment $a/b \leq 2.30$ for S/A ≤ 0.15
 <p>Lattice, open area ratio = 0.5</p>	$m = 1.30$ for S/A ≤ 0.10		

Gambar 2.4 *Blockage Correction Factor* untuk berbagai bentuk penghalang pada windtunnel (Ian. J. Ross 2010)

2.8 Tip Speed Ratio

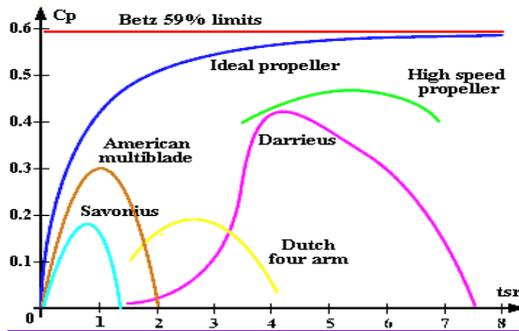
Perbandingan antara kecepatan putar dibagian ujung turbin dengan kecepatan angin (TSR) dapat dirumuskan menjadi:

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

Dengan:

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

Setiap jenis turbin angin memiliki karakter yang berbeda-beda mengenai hubungan *coefficient of power* dengan *tip speed ratio* yang dimiliki. Dimana pada gambar dibawah ini, dapat terlihat berbagai macam turbin angin dan hubungannya dengan *coefficient of power* beserta nilai *tip speed ratio*.



Gambar 2.5 Grafik nilai *coefficient of power* sebagai fungsi *tip speed ratio* untuk berbagai turbin angin (Al-Shemmeri, 2010)

Batas *Betz (Betz Limit)* merupakan batas *coefficient of power* terbesar yang dapat dihasilkan turbin angin dibanding energi mekanik yang dihasilkan aliran udara yang mengenyainya. *Albert Betz*, seorang ahli aerodinamika Jerman 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)*. Sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.5 diatas.

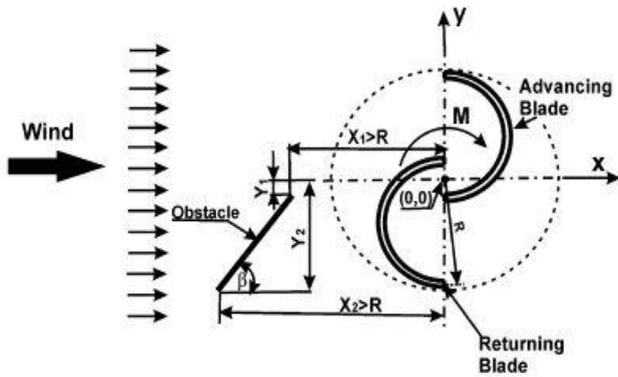
2.9 Penelitian Terdahulu

Dalam sebuah penelitian, diperlukan referensi dari penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Dimana, pada penelitian ini ada beberapa penelitian terdahulu yang dijadikan referensi mengenai turbin Savonius dengan penghalang baik itu berupa eksperimen ataupun simulasi dengan CFD.

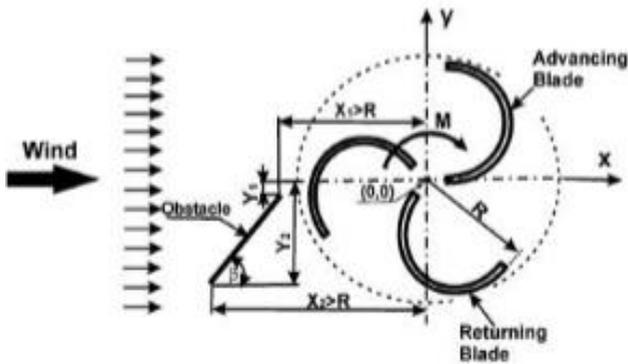
2.9.1 Membandingkan Performa Turbin Savonius Dua Sudu dan Tiga Sudu dengan Pemberian Plat Penghalang.

Pemberian penghalang didepan *returning blade* turbin Savonius pernah dilakukan oleh **Mohamed et al (2010)** dengan membandingkan performa yang dihasilkan oleh turbin Savonius yang memiliki sudu berjumlah dua dan tiga. Penelitian yang dilakukan oleh beliau ini menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamics*. Dimana, penelitian ini diberikan variasi besar sudut plat penghalang (β) dan tip speed ratio (λ) dengan kecepatan angin 10m/s.

Posisi yang digunakan oleh peneliti antara plat penghalang dengan turbin Savonius adalah seperti gambar 2.6 berikut ini.



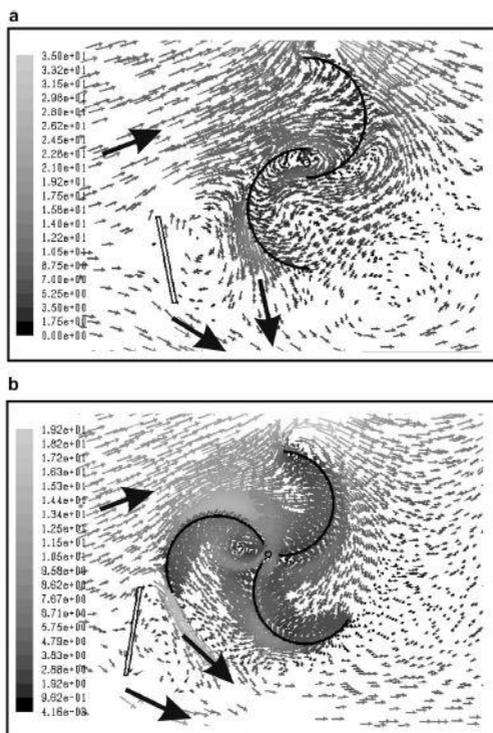
(a)



(b)

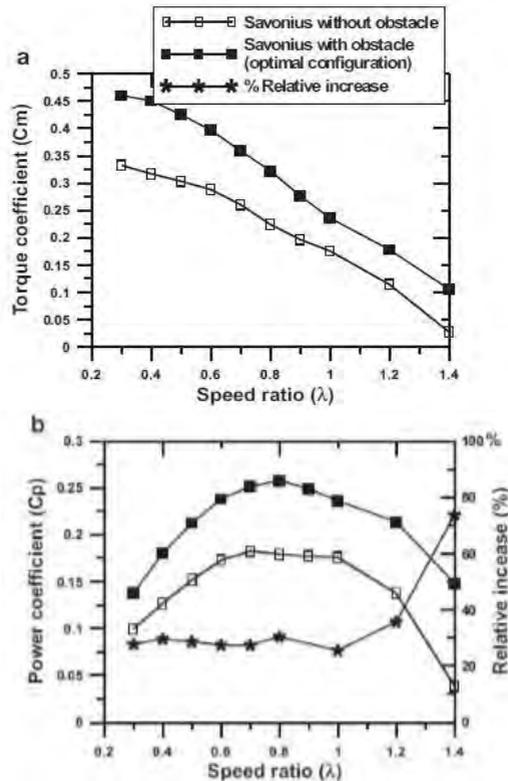
Gambar 2.6 Skema susunan plat penghalang pada turbin Savonius (a) dua sudu dan (b) tiga sudu (Mohamed et al, 2010)

Dari hasil simulasi yang dilakukan oleh peneliti diketahui bahwa jumlah sudu pada turbin Savonius memiliki pengaruh terhadap *self starting* yang dimiliki oleh turbin Savonius. Dimana, alira fluida pada turbin Savonius pada saat melakukan *self starting* dapat digambarkan seperti gambar simulasi 2.7.



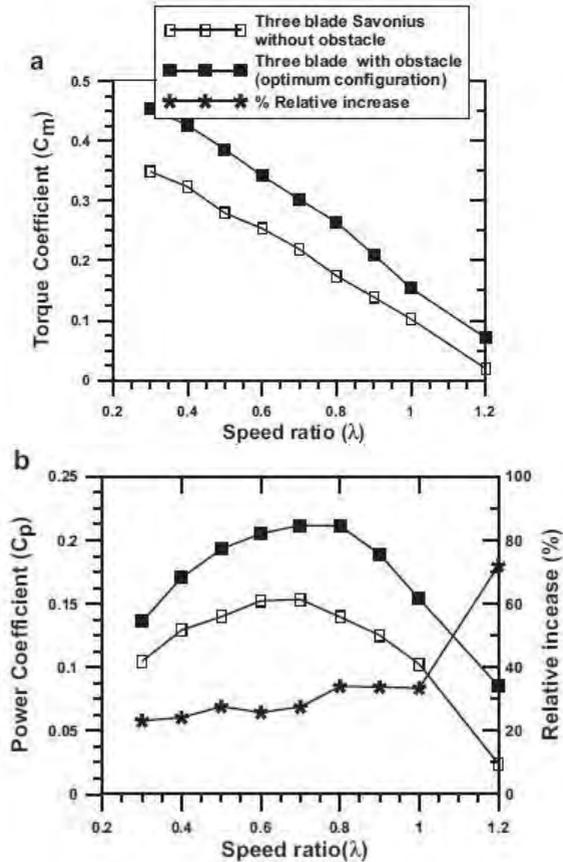
Gambar 2.7 Perbandingan struktur aliran pada saat *self starting* dengan speed ratio (λ) = 0,7; a: turbin dua sudu ; b: turbin tiga sudu (Mohamed et al, 2010)

Selain kemampuan *self starting*, penambahan plat penghalang juga berpengaruh terhadap nilai koefisien torsi dan koefisien daya dari kedua turbin tersebut. Dimana grafik nilai koefisien torsi dan daya dapat dilihat pada gambar 2.8 untuk turbin dengan dua sudu.



Gambar 2.8 Grafik performa turbin Savonius dengan dua sudu sebelum dan setelah diberi plat penghalang. (a) Grafik *Torque Coefficient* ; (b) Grafik *Power Coefficient* (Mohamed et al, 2010)

Adapun grafik untuk turbin angin dengan jumlah sudu tiga buah dapat dilihat pada gambar 2.9 sebagai berikut.

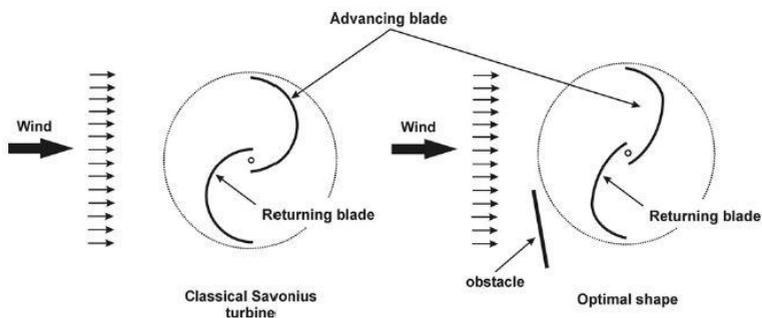


Gambar 2.9 Grafik performa turbin Savonius tiga sudu sebelum dan setelah diberi plat penghalang. (a) Grafik *Torque Coefficient* ; (b) Grafik *Power Coefficient* (Mohamed et al, 2010)

Dari penelitian diatas didapatkan bahwa kenaikan koefisien torsi dari sudu yang berjumlah dua, mendapati nilai CoP sebesar 25,3 dibandingkan tanpa plat penghalang didepan sudu turbin. Sedangkan untuk turbin yang berjumlah tiga buah mendapati nilai CoP sebesar 21,4 dibandingkan tanpa plat penghalang didepan sudu turbin.

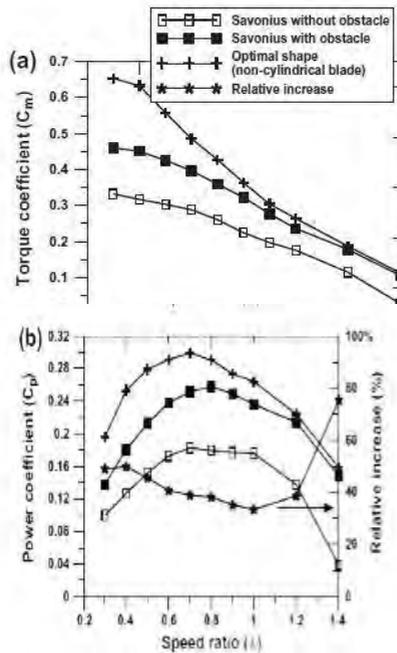
2.9.2 Analisa Performa Pemberian Plat Penghalang pada Turbin Savonius Menggunakan Simulasi Computational Fluid Dynamics

Penelitian selanjutnya adalah penelitian yang dilakukan oleh peneliti yang sama ditahun yang sama. Dimana, peneliti pada tahun yang sama juga melakukan penelitian dengan media yang sama yaitu menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamics* dengan menganalisa pengaruh pemberian plat penghalang dan pengaruh bentuk sudu turbin terhadap performa turbin Savonius. Pada penilitian ini sudu yang digunakan adalah dua sudu yang berukuran setengah lingkaran dan sudu berbentuk optimal.



Gambar 2.10 Skema turbin Savonius dengan sudu setengah lingkaran dan sudu bentuk optimal (Mohamed et al, 2010)

Penelitian ini dilakukan dengan mengukur nilai koefisien torsi, daya dan dilanjutkan dengan mengukur nilai koefisien torsi statis bedasarkan *tip speed ratio*. Dengan pengambilan data dari penelitian yang dilakukan dapat terlihat perbedaan grafik nilai *Torque Coefficient* dan *Power Coefficient* pada turbin angin Savonius yang memiliki bentuk *blade conventional* (setengah lingkaran) seperti gambar 2.11

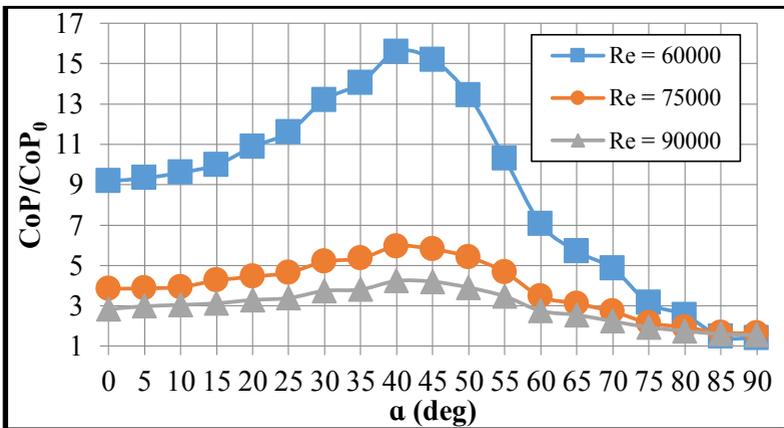


Gambar 2.11 Grafik perbandingan koefisien torsi dan koefisien daya turbin Savonius menggunakan sudu setengah lingkaran (Mohamed et al, 2010)

Dari grafik penilitan diatas terlihat bahwa penggunaan jenis *blade* berbentuk setengah lingkaran atau konvensional *blade* masih baik untuk dijadikan *design* dalam meneliti performa dari turbin angin Savonius.

2.9.3 Studi Eksperimen Pengaruh Sudut Plat Penghalang didepan Retruning *Blade* Turbin Angin Tipe Savonius Terhadap Performa Turbin dengan $(L/D) = 1,4144$

Pada peneltian yang dilakukan oleh **Yoga Priandika** dengan eksperimen yang dilakukan dalam windtunnel berukuran panjang 475 mm, tinggi 304 mm, lebar 304 mm dan kecepatan maksimal 20 m/s serta benda uji berupa penghalang berukuran lebar 84,864 mm, tinggi 150 mm, tebal 3 mm pada turbin Savonius dengan diameter sudu 60 mm, tinggi 80 mm dan panjang karaktersitik 106 mm. Pada penelitian ini, didapatkan hasil perbandingan antara nilai *coefficient of power* yang dihasilkan turbin Savonius dengan sudut penempatan plat penghalang.



Gambar 2.12 Grafik Perbandingan nilai *coefficient of power* yang dihasilkan turbin Savonius sebagai fungsi variasi sudut dengan menggunakan plat penghalang dari 0° sampai 90° dengan kenaikan 5° . (Priandika, 2016)

Gambar 2.12 merupakan perbandingan nilai *coefficient of power* turbin Savonius setelah pemberian plat penghalang didepan *returning blade* dan tanpa pemberian plat penghalang. Pada grafik tersebut terlihat bahwa perbandingan CoP/CoP_0 selalu memiliki nilai diatas satu. Hal itu menunjukkan bahwa dengan pemberian plat penghalang 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 penghalang 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 penghalang $L/D = 1,4144$ terdapat pada sudut 40° untuk *Reynolds Number* 60.000 dengan kenaikan sebesar 1459%. Pada sudut plat penghalang 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 kemampuan yang dimiliki turbin Savonius yang mampu menggerakkan turbin dalam keadaan optimum pada kecepatan angin yang rendah sedangkan untuk *Reynolds* 90.000 memiliki kecepatan angin yang sudah cukup tinggi sehingga turbin Savonius tidak mampu bergerak secara optimal.

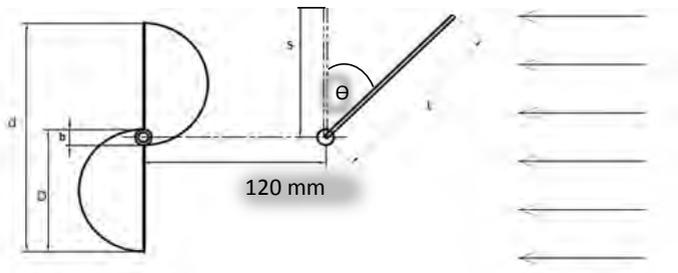
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

,BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Analisa Dimensi

Pada penelitian yang akan dilakukan ini, diperlukan analisa dimensi untuk mengetahui parameter-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 penghalang/perbandingan lebar plat dan diameter turbin (L/D), tinggi turbin savonius (H), diameter overlap (b) dan sudut plat penghalang (Θ). Skema penelitian dan parameter-parameter pengujian dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Skema Penelitian (pandangan atas)

Dari skema penelitian diatas, diperkirakan bahwa nilai *coefficient of power* bergantung 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 (mm)
- d = panjang karakteristik turbin (mm)
- S = proyeksi lebar plat penghalang terhadap sudut penghalang (mm)
- L = lebar plat penghalang (mm)
- Θ = sudut plat penghalang
- b = diameter *shaft* (mm)
- H = tinggi turbin (mm)

3.1.1 Analisa Dimensi *Coefficient of Power*

Langkah yang harus dilakukan untuk menganalisa dimensi pada nilai *coefficient of power* adalah dengan cara *Buckingham-Phi Theorema* berikut:

1. Menentukan parameter-parameter yang mempengaruhi *power*

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

Jumlah parameter (n) = 9 parameter

Parameter-parameter tersebut adalah :

P = *Power*, J/s

ρ = densitas udara, kg/m^3

μ = viskositas absolut udara, N.s/m^2

U = kecepatan aliran udara, m/s

D = diameter sudu turbin Savonius, m

S = lebar plat penghalang, m

L = proyeksi lebar plat pada turbin Savonius, m

H = tinggi turbin Savonius, m

- b = diameter overlap, m
- n = Putaran sudu turbin angin *Savonius*, rpm

2. Menentukan satu grup dimensi primer yang digunakan dalam menganalisa.

Dipilih M, L, t.

Parameter	P	ρ	μ	U	D	L	S	H	b	n
Dimensi	$\frac{M L^2}{t^3}$	$\frac{M}{L^3}$	$\frac{M}{Lt}$	$\frac{L}{t}$	L	L	L	L	L	$\frac{1}{t}$

- 3. Membuat dimensi primer dari parameter-parameter yang dipilih.
- 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 = 10 – 3 = 7 grup tanpa dimensi.

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

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 :

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

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

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

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

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

$$\pi_7 = \frac{n \cdot D}{U}$$

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

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

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

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

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

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

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

$$\pi_7 = \frac{n.D}{U} = \frac{1}{t} L \frac{t}{L} = 1$$

Dari analisa dimensi diatas diperoleh grup tak berdimensi sebagai berikut :

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

$\pi_2 = \text{bilangan Reynolds}$

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

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

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

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

$\pi_7 = \text{Tip Speed Ratio}$

Hubungan antara grup tak berdimensi sebagai berikut :

$$\pi_1 = f(\pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6, \pi_7)$$

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

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

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

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

$$\text{CoP} = f_3 (\text{Re} , \Theta , \text{TSR}) \quad (3.1)$$

3.2 Peralatan

Penelitian yang akan dilakukan membutuhkan beberapa peralatan penunjang untuk mendapatkan hasil penelitian yang baik. Untuk itu beberapa peralatan yang akan menunjang pengambilan data eksperimen adalah :

3.2.1 Axial Fan

Pada penelitian ini menggunakan *Axial fan* untuk menghasilkan kecepatan angin yang akan digunakan dalam pengujian performa turbin angin Savonius. *Axial*

Fan yang digunakan yaitu **CKE SPV-18**. Untuk spesifikasi yang lebih detail dapat dilihat pada Tabel 3.1

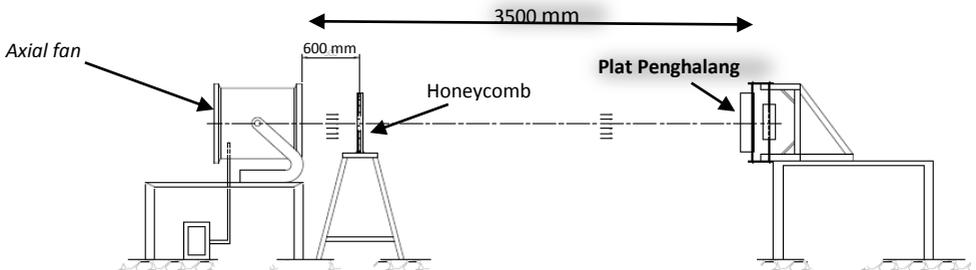


Gambar 3.2 *Axial fan* CKE SPV-18

Tabel 3.1 Spesifikasi *Axial fan* CKE SPV-18

SPECIFICATIONS	
Diameter	18 inch / 450 mm
Speed	2850 RPM
Air Flow	4413 CFM
Power	1700 Watt
Static Press	520 Pa
Phase	1
Voltage	220 – 240 V

Skema penelitian yang dilakukan adalah dengan meletakkan *Axial fan* sejauh 3.5 meter di depan turbin angin Savonius, yang dapat dilihat pada gambar 3.3

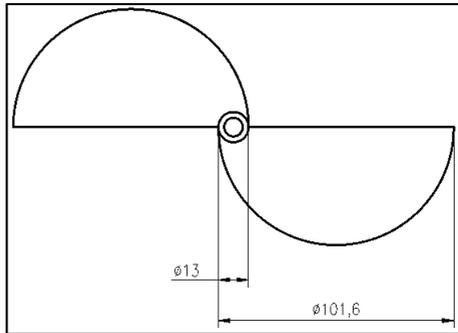


Gambar 3.3 Skema penelitian dan dimensi alat

3.2.2 Benda Uji

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

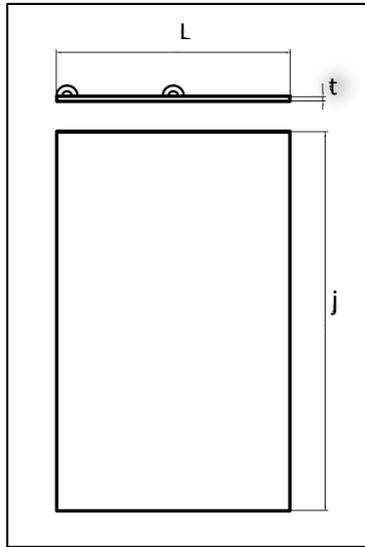
- a. Profil turbin angin tipe Savonius sebagai berikut :
 - Diameter sudu turbin (D) : 101,6 mm
 - Tinggi (H) : 300 mm
 - Diameter turbin (2D-b) : 190,2 mm
 - Overlap diameter (b) : 13 mm



Gambar 3.4 Skema Turbin Angin Savonius (tampak atas)

b. Profil Plat Penghalang sebagai berikut

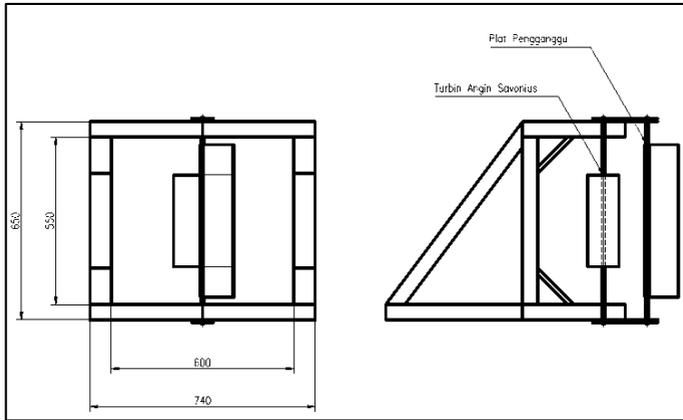
- Lebar : 143,6 mm
- Sudut (Θ) : $0^0 \leq \Theta \leq 90^0$
- Tinggi (j) : 300 mm
- Tebal (t) : 3 mm



Gambar 3.5 Plat sebagai Penghalang

3.2.3 Penyangga Turbin Angin Savonius

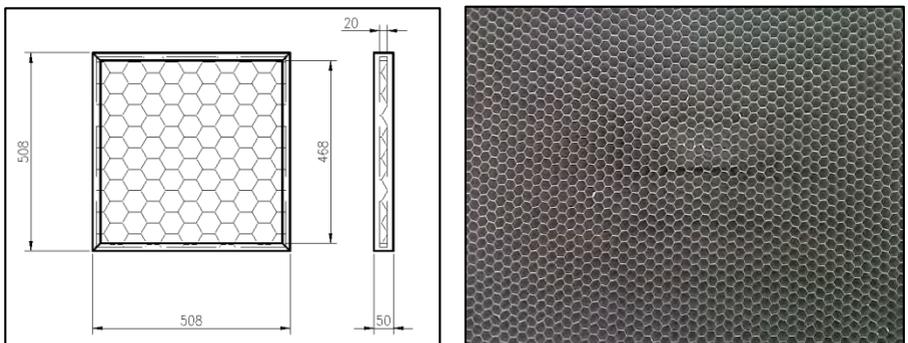
Pada penelitian digunakan sebuah penyangga yang digunakan sebagai tempat peletakkan turbin angin Savonius dan juga plat penghalang. Berikut skema dari penyangga turbin angin Savonius sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3.6



Gambar 3.6 Penyangga turbin angin *Savonius*

3.2.4 *Honeycomb*

Pada penelitian ini digunakan sebuah *Honeycomb* yang digunakan untuk menyearahkan aliran angin dari *Axial fan* menuju benda uji. Dimana, ukuran *Honeycomb* didasarkan oleh penelitian yang dilakukan **Bradshaw et al (1979)**. Berikut skema dari *Honeycomb* beserta *cover* dengan ukuran *meshing* dari *honeycomb* sebesar 16/inch².



Gambar 3.7 *Honeycomb* (tampak depan)

3.2.5 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 ini merupakan alat ukur digital yang digunakan untuk mengukur kecepatan rotasi dari sebuah objek. Tachometer yang digunakan, dapat dilihat pada gambar 3.8, yaitu pada penelitian ini yaitu *Economical Non-Contact Pocket Optical Tachometer OMEGA seri HHT12* dengan akurasi pembacaan 0.01% atau ± 1 digit dengan range pengukuran antara 5 hingga 99.999 rpm. Untuk Spesifikasi yang lebih detail dapat dilihat pada Tabel 3.2



Gambar 3.8 Tachometer OMEGA seri HHT12

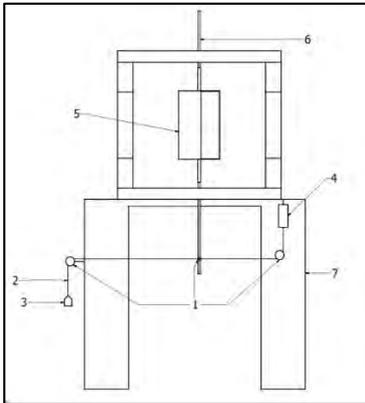
Tabel 3.2 Spesifikasi Tachometer OMEGA seri HHT12

SPECIFICATIONS	
Range	5 to 99.999 rpm
Accuracy	0,01 % of reading or ± 1 digit
Resolution	0,001 to 1,0 rpm
Display	5-digit alphanumeric LCD
Memory	Max, min and last
Power	2 "AA" 1,5 V dc batteries
Environmental	5 to 40° C

b. *Brake* Dynamometer

Brake dynamometer merupakan alat ukur digital yang berfungsi untuk mengukur torsi dinamis yang dihasilkan oleh putaran suatu objek. *Brake*

dynamometer yang digunakan, dapat dilihat pada gambar 3.9 yang didasarkan dari penelitian yang dilakukan oleh **Mahmoud et al (2010)**.



(a) Skema desain awal

(b) Foto *brake* dynamometer

Gambar 3.9 Skema pengukuran *brake* dynamometer

Keterangan:

1. Sistem *pulley*
2. Benang Nilon
3. Massa pemberat
4. Pegas
5. Turbin angin Savonius
6. Poros turbin angin Savonius
7. Struktur Penyanggah turbin angin Savonius

Pengukuran yang dilakukan adalah dengan skema yang terdiri dari sistem *pulley*, massa pemberat dan pegas yang dihubungkan oleh benang nilon dengan merk **DAMYL** yang mengaitkan poros turbin angin

Savonius. Besarnya daya yang terukur sesuai dengan persamaan 2.6, dimana torsi dinamis yang dihasilkan oleh turbin angin Savonius dapat diukur oleh *brake* dynamometer. Torsi dinamis yang dihasilkan oleh turbin angin Savonius diukur ketika turbin berputar. Massa pemberat ditambahkan dengan berbagai variasi hingga turbin berhenti berputar.

Tabel 3.3 Spesifikasi Pegas

SPECIFICATIONS	
Range	0 to 5 N ; 0 to 500 g
Resolution	1 N ; 10 g



Gambar 3.10 Pegas yang digunakan untuk mengukur beban yang digunakan saat pengukuran torsi dinamis



Gambar 3.11 Benang Nilon DAMYL

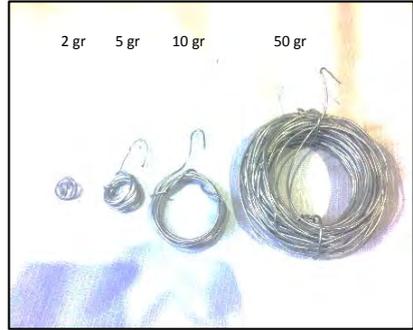
Tabel 3.4 Spesifikasi Benang Nilon DAMYL

SPECIFICATIONS	
Kekuatan	15 lbs ; 6,8 kg
Diameter	1 mm

Untuk mengukur besarnya massa pemberat, dilakukan dengan menggunakan timbangan. Timbangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah **Shimadzu ELB300**. Untuk spesifikasi yang lebih detail dapat dilihat pada tabel 3.5

Tabel 3.5 Spesifikasi timbangan Shimadzu ELB300

SPECIFICATIONS	
Weighing Capacity	300 g
Minimum Display	0,01 g
Standard deviation	0,01 g
Linearity errors	0,01 g
Pan size	110 mm



Gambar 3.12 Timbangan Shimadzu ELB300 dan Beban

Untuk mengurangi efek gesekan akibat kotoran yang berada pada bearing yang digunakan pada turbin angin maka digunakan pelumas serbaguna untuk menghilangkannya dimana penggunaan pelumas ini digunakan sebelum alat uji digunakan. Pelumas yang digunakan dalam penelitian ini ada **REXCO 50** seperti gambar berikut:



Gambar 3.13 Pelumas serbaguna

Tabel 3.6 Spesifikasi Pelumas REXCO 50

SPECIFICATIONS	
Code	SM363
Name	Multi Purpose Lubricant
Type	Lubricant 50 – 350 ML/ 287 G
Weight	0.5 Kg

c. Anemometer

Anemometer adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin. Anemometer yang digunakan dalam penelitian ini adalah **Omega HHF141 Digital Anemometer** sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3.14. Pengukuran dapat dilakukan dalam beberapa satuan pengukuran yaitu ft/min, mph, knots, meter/s dan km/h. Selain itu alat ini dapat mengukur temperatur udara dalam satuan °F dan °C. Untuk spesifikasi yang lebih detail dapat dilihat pada tabel 3.7.



Gambar 3.14 Anemometer

Tabel 3.7 Spesifikasi OMEGA HHF141 Digital Anemometer

SPECIFICATIONS	
Accuracy	AP275: +/- 1.0% of reading +/- 1 digit AP100: +/- 0.5% of F.S. +0.75% of reading + 1 digit
Resolutions	0.01 m/sec
Display	0.5 inch LCD, 4 digits
Air Flow	
Range	Resolution
AP100	1,5 to 35,00 m/sec
2,75 inch	0,2 to 40,00 m/sec
Temperature	
Operating Type	Temperature
Instrument	0 to 50 ⁰ C
Probes	-20 to 100 ⁰ C

d. Torque Meter

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



Gambar 3.15 Torque meter LUTRON model TQ-8800

Tabel 3.8 Spesifikasi Torque meter LUTRON mode TQ-8800

Display Unit/ Resolution				
Unit	Max. range	High resolution	Low resolution	Over load protection range
kg-cm	15 kg-cm	0,01 kg-cm	0,1 kg-cm	22,5 kgf-cm max
Lb-inch	12,99 Lb-inch	0,01 Lb-inch	0,1 Lb-inch	19,53 Lbf-inch max
N-cm	147,1 N-cm	0,1 N-cm	1 N-cm	220,1 N-cm max

e. *Multimeter*

Multimeter digunakan untuk mengukur besarnya voltase yang digunakan untuk menggerakkan *axial fan*. Hal ini bertujuan untuk menjaga aliran asupan daya listrik yang dialirkan ke *axial fan* agar terjaga konstan. Multimeter yang digunakan adalah **SANWA PC7000 Digital Multimeter** sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3.16. Adapun spesifikasi detail dapat dilihat pada Tabel 3.9.



Gambar 3.16 SANWA PC7000 Digital Multimeter

Tabel 3.9 Multimeter Digital SANWA PC7000

SPECIFICATIONS	
Measurement Type	ACV
Range	500mV – 1000V
Best Accuracy	$\pm(0,5\%+40)$
Resolution	0,01 mV
Input Impedance	10M Ω
Bandwith	V: 1kHz – 20kHz (below 500V) A: 40Hz – 1kHz
Size	184 X 86 X 52 mm

3.3 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 section*.
3. Menyalakan *fan* dan mengatur besar frekuensi dengan menggunakan Voltage sehingga didapatkan nilai kecepatan sesuai dengan yang diharapkan.
4. Melakukan pengukuran temperatur menggunakan Thermometer.
5. Mengukur kecepatan angin dengan menggunakan Anemometer untuk mendapatkan *Reynolds Number* yang diinginkan, yaitu $3,0 \times 10^4$.

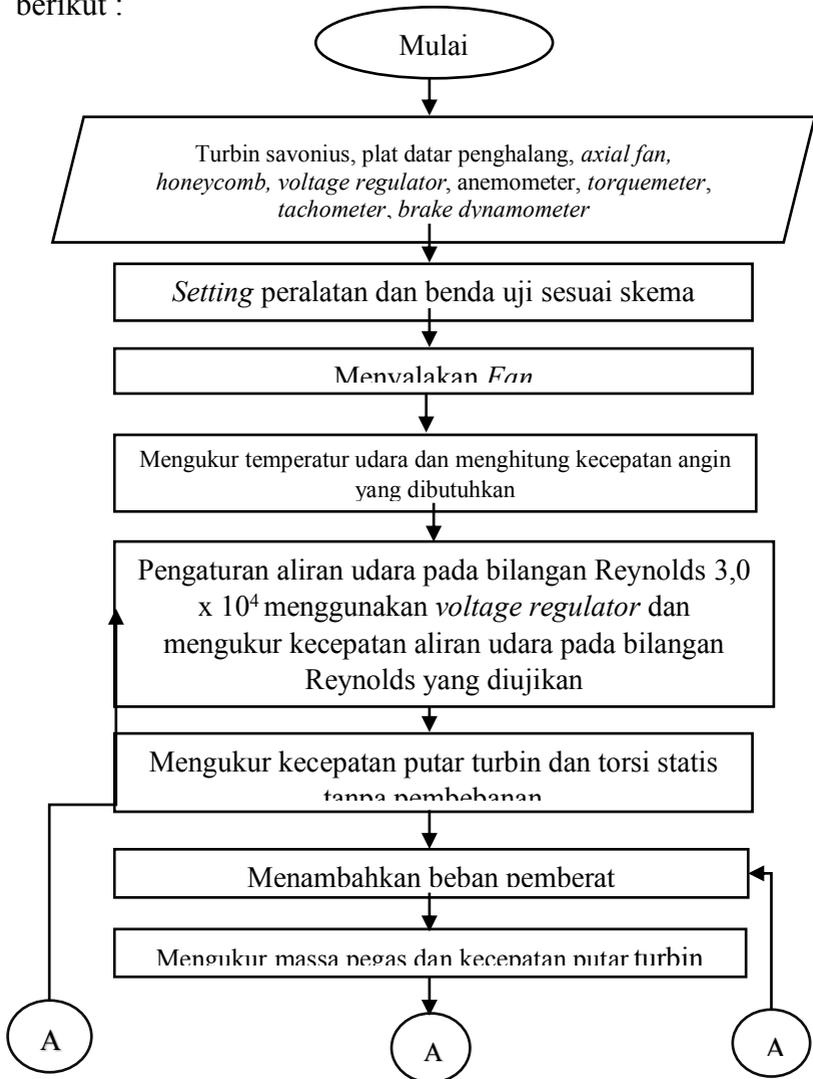
6. Mengukur putaran poros turbin angin tanpa beban dengan menggunakan Tachometer.
7. Mengukur torsi statis tanpa beban dengan menggunakan Torque meter.
8. Memberikan beban pemberat 1 gram
9. Mengukur putaran poros turbin angin dengan menggunakan Tachometer.
10. Mengukur beban pegas dengan menggunakan neraca pegas.
11. Mengulangi langkah 8-10 dengan penambahan beban pemberat sebesar 1 gram hingga turbin berhenti berputar, beban yang dipilih adalah beban ketika *coefficient of power* maksimum.
12. Mematikan *fan*.
13. Mengulangi langkah 3 sampai 12 dengan merubah bilangan Reynolds menjadi 6.0×10^4 dan 9.0×10^4 dan penambahan beban pemberat sebesar 5 gram pada bilangan Reynolds 6.0×10^4 dan 10 gram pada bilangan Reynolds 9.0×10^4 .
14. Memasang plat penghalang di depan *returning blade* dengan jarak antara pusat *returning blade* turbin angin dan

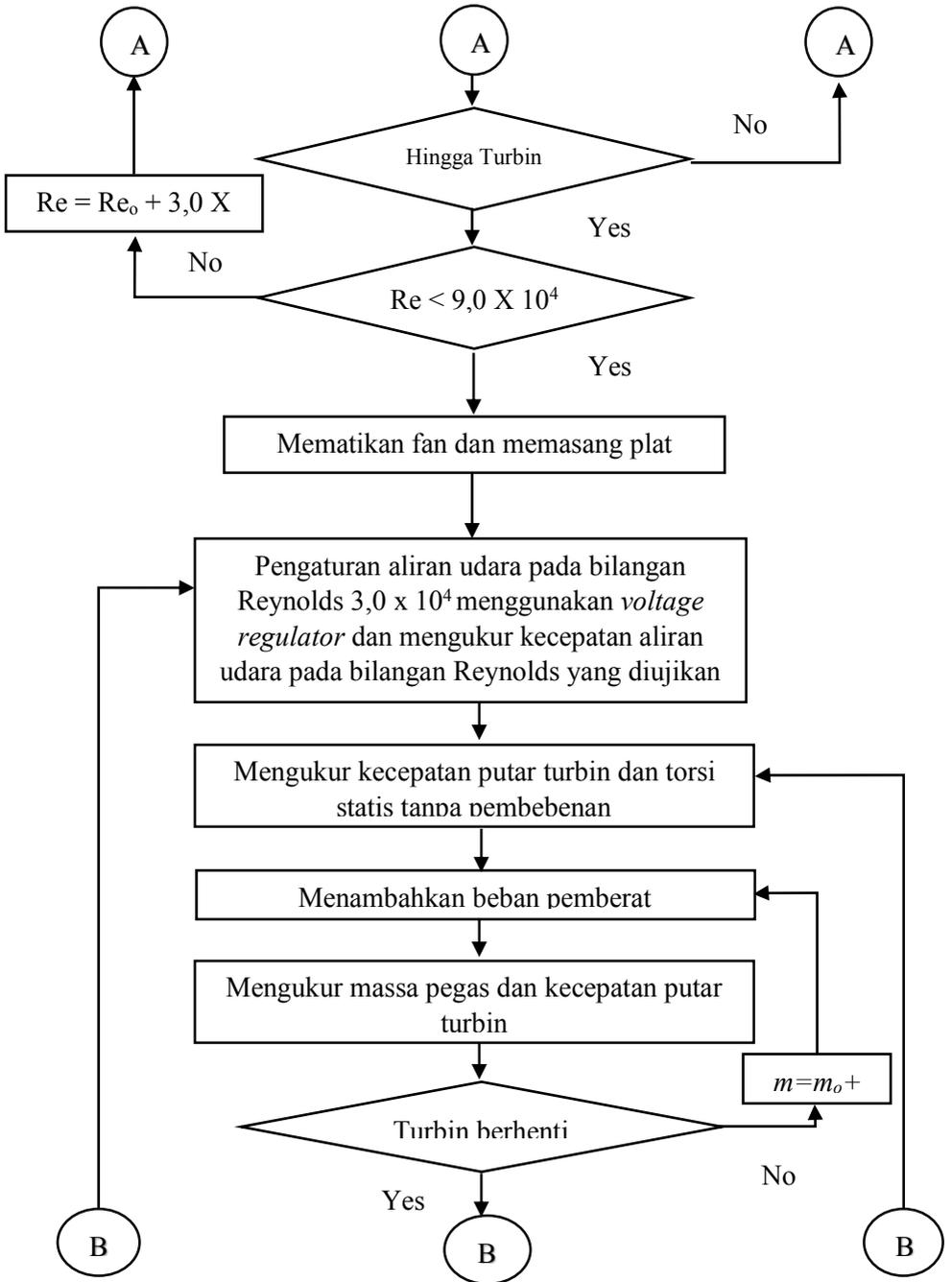
plat penghalang (L/D) adalah 1,414 ($L = 1,414 \times 101,6 = 143,6$ mm)

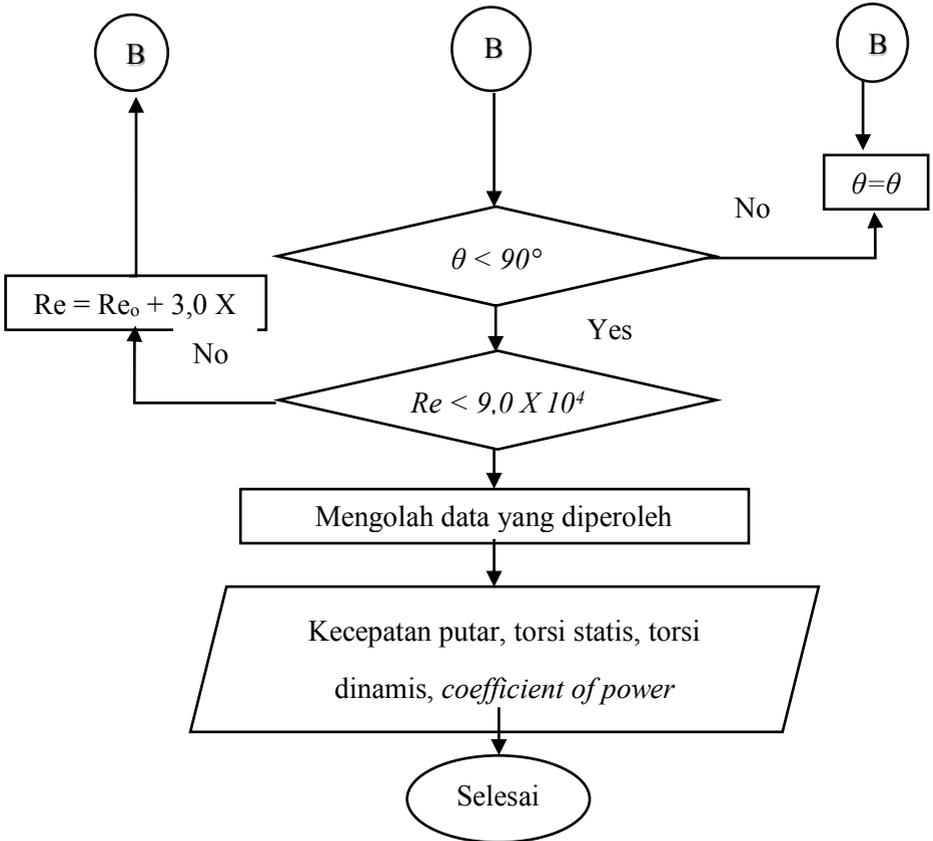
15. Mengulangi langkah 3 sampai 13 dengan memvariasikan sudut plat penghalang sebesar $0^\circ \leq \Theta \leq 90^\circ$
16. Mematikan *fan*.
17. Mengolah semua data yang diperoleh (putaran dan torsi dinamis) dan melakukan *plotting* grafik torsi statis terhadap θ , putaran terhadap θ , dan *Coefficient of Power* (CoP) terhadap θ .
18. Membandingkan hasil data yang diperoleh antara turbin angin Savonius berpenghalang dengan turbin angin Savonius tanpa penghalang.

3.4 Flowchart Penelitian

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







Gambar 3.17 Flowchart Pengambilan Data

3.5 Pelaksanaan Penelitian

Ghant Chart atau pelaksanaan dari penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.9

No.	KEGIATAN	Sept	<u>Okt</u>	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	April	Mei	<u>Juni</u>	<u>Juli</u>
1.	<u>Studi Literatur</u>											
2.	<u>Pembuatan Proposal</u>											
3.	<u>Ujian Proposal</u>											
4.	<u>Pengukuran</u>											
5.	<u>Penulisan TA</u>											
6.	<u>Ujian Tugas Akhir</u>											

Tabel 3.10 *Table planner* penelitian

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian Tugas Akhir yang dilakukan, didapatkan data bahwa terjadi pengaruh pemberian plat penghalang didepan *returning blade* turbin Savonius terhadap performa turbin angin. Dimana data tersebut terdiri dari nilai putaran, torsi statis dan *coefficient of power* yang dihasilkan dari turbin angin menggunakan plat penghalang dan tanpa plat penghalang didepannya. Data tersebut didapatkan berdasarkan variasi Reynolds Number yang melewati turbin angin serta variasi sudut plat penghalang yang tegak lurus aliran udara

4.1 Contoh Perhitungan

Pengambilan data menggunakan udara sebagai *fluida* kerja dimana pada penelitian ini beberapa hal diasumsikan seperti aliran *steady* dan *incompressible* yang memiliki nilai sebagai berikut:

1. Tekanan *absolute* udara dalam keadaan standar (P_1) = $1,01325 \text{ N/m}^2$
2. Temperatur udara dalam keadaan standar (T_1) = $288,2 \text{ K}$
3. Temperatur udara ruangan kerja (T_2) = $28^\circ\text{C} = 301 \text{ K}$
4. Massa jenis udara dalam keadaan standar (ρ_1) = $1,225 \text{ kg/m}^3$

Data diatas merupakan data *standart* yang digunakan untuk contoh perhitungan dan perhitungan pada penelitian yang dilakukan. Adapun perhitungan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

4.1.1 Perhitungan Bilangan Reynolds

❖ Massa Jenis Udara (ρ)

Perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan nilai masa jenis udara pada saat penelitian dapat digunakan persamaan Boyle – Gay Lusacc mengenai pemuaian gas. Dimana persamaannya adalah sebagai berikut:

$$P V = m R T \quad (4.1)$$

dengan membagi kedua ruas dengan m, maka persamaan 4.1 menjadi:

$$P \frac{V}{m} = R T \text{ atau } \frac{P}{\rho} = R T \quad (4.2)$$

maka,

$$\rho = \frac{P}{R T} \quad (4.3)$$

dimana:

ρ : massa jenis udara (kg/m^3)

P : tekanan udara pada saat penelitian dilakukan = 1 atm = 101325 Pa

R : konstanta spesifik gas = 287,058 J/kg K

T : temperatur pada saat penelitian dilakukan = 28°C = 301K

dengan mensubstitusikan nilai P, R dan T, maka didapatkan:

$$\rho = \frac{101325 \text{ Pa}}{287 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} 301 \text{ K}} = 1,1776 \text{ kg/m}^3$$

❖ Viskositas Absolut Udara (μ)

Adapun perhitungan viskositas *absolute* udara menggunakan persamaan dari Sutherland sebagai berikut:

$$\mu_2 = \frac{b \times (T_2)^{0,5}}{1 + \frac{S}{T_2}} \quad (4.4)$$

dimana :

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

$$S = 110,4 \text{ K}$$

Temperatur pengujian yang dilakukan adalah $28^\circ\text{C} = 301 \text{ K}$ sehingga perhitungannya menjadi :

$$\mu_2 = \frac{1,458 \times 10^{-6} \frac{kg}{m.s.K^{0,5}} \times (301\text{K})^{0,5}}{1 + \frac{110,4 \text{ K}}{301 \text{ K}}} = 1,850 \times 10^{-5} \frac{kg}{m.s}$$

❖ Kecepatan Freestream Udara (U_∞)

Dengan nilai massa jenis dan viskositas *absolute* udara yang telah didapatkan dalam perhitungan sebelumnya, nilai Reynolds *Number* = 90.000 dan nilai panjang karakteristik turbin Savonius sebesar 0,1902 m maka dapat diketahui nilai kecepatan *freestream* udara dengan perhitungan seperti dibawah ini :

$$U_\infty = \frac{Re \times \mu}{\rho_2 \times d}$$

$$U_\infty = \frac{90000 \times 1,850 \times 10^{-5} \frac{kg}{m.s}}{1,1772 \frac{kg}{m^3} \times 0,1902 \text{ m}}$$

$$U_{\infty} = 7,45 \text{ m/s}$$

4.1.2 Perhitungan *Coefficient of power (CoP)*

Untuk melakukan perhitungan *coefficient of power (CoP)*, dapat digunakan data-data yang telah didapat dari hasil pengujian. Dimana nilai *coefficient of power (CoP)* tersebut didapatkan oleh persamaan 2.6 – 2.11 sebagai berikut:

$$\text{CoP} = \frac{\frac{\tau \cdot \pi \cdot n}{30}}{\frac{1}{2} \rho A U^3}$$

Pada penelitian ini besar luasan A ditentukan sebagai :

$$\begin{aligned} A &= (2D-b) \times H \\ &= (2(0,1016) - 0,013) \times 0,3 \\ &= 0,05706 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Pada penelitian ini besar Torsi Dinamis dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \tau &= F \times r \\ \tau &= (s-m) \times g \times r \\ &= (0,3 \text{ kg} - 0,080 \text{ kg}) \times (9,81 \text{ m/s}^2) \times (0,01\text{m}) \\ &= 0,2261 \text{ N.m} \end{aligned}$$

Sehingga nilai CoP pada pengukuran $Re = 90.000$ dengan lebar plat 1,414 pada sudut 45° didapatkan nilai sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{CoP} &= \frac{\frac{0,2261 \times \pi \times 315}{30}}{\frac{1}{2} (1,1772 \times 0,05706 \times 7,45^3)} \\ &= 0,05379 = 5,38 \% \end{aligned}$$

4.1.3 Perhitungan *Tip Speed Ratio* (λ)

Untuk menghitung nilai *Tip Speed Ratio* (λ) dapat dilakukan dengan membandingkan kecepatan pada sudu dengan kecepatan aliran yang masuk. Perhitungan tersebut dapat dilakukan dengan perumusan sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{\omega \times R}{U_{\infty}}$$

$$\lambda = \frac{2 \times \pi \times n_b \times R}{60 \times U_{\infty}}$$

$$\lambda = \frac{2 \times 3,14 \times 315 \text{ rpm} \times 0,1902 \text{ m}}{60 \times 7,45 \text{ m/s}}$$

$$\lambda = 0,420$$

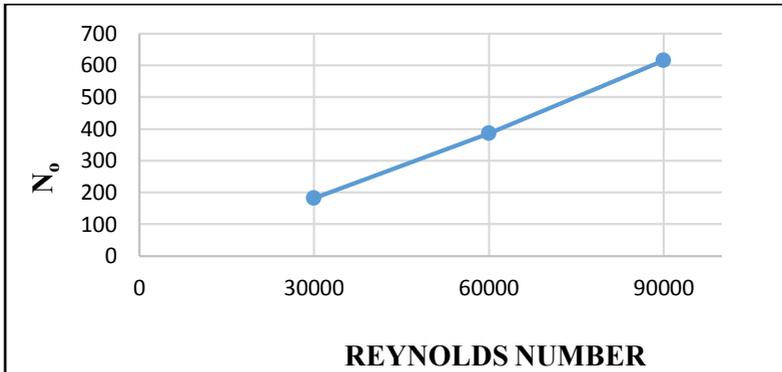
4.2 Analisa Performa Turbin Angin Savonius Tanpa Plat Penghalang

Pada sub bab ini, analisa performa turbin dilakukan saat turbin dalam kondisi bebas, yaitu tanpa plat penghalang didepan sisi *returning blade*. Adapun variasi yang akan dianalisa adalah variasi Reynolds *Number* terhadap putaran dari turbin, torsi statis dan *coefficient of power* dari turbin angin tersebut.

4.2.1 Analisa Nilai Putaran Terhadap Variasi Reynolds *Number* pada Turbin Angin Savonius Tanpa Plat Penghalang

Nilai putaran terhadap variasi Reynolds *Number* diukur dengan mengukur nilai putaran dari Reynolds *Number* 30.000, 60.000 dan kemudian 90.000. Pengukuran ini dilakukan pada saat keadaan turbin berputar bebas tanpa diberikan beban dan penghalang didepannya. Pengujian yang dilakukan ini, menggunakan alat ukur *tachometer digital*

dalam pembacaan nilai putaran pada turbin angin disaat masing-masing nilai Reynolds Number. Adapun data yang didapatkan terdapat pada gambar 4.1 sebagai berikut:



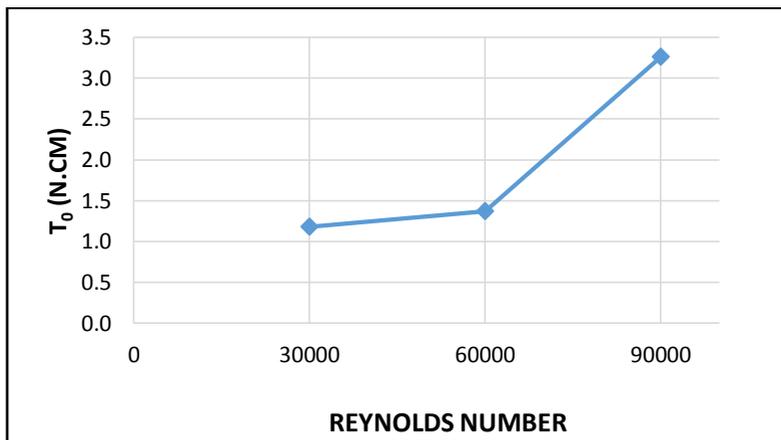
Gambar 4.1 Grafik putaran turbin Savonius tanpa plat penghalang (N_0) terhadap Bilangan Reynolds (Re)

Pada gambar 4.1 menunjukkan nilai putaran yang dihasilkan oleh turbin sebagai fungsi nilai Reynolds Number tanpa pemberian plat penghalang didepan *returning blade*. Dari gambar tersebut terlihat bahwa nilai putaran selalu naik dengan bertambahnya nilai bilangan Reynolds. Putaran terendah dihasilkan oleh nilai bilangan Reynolds di 30.000 dan yang tertinggi pada nilai bilangan Reynolds 90.000. Penyebab kenaikan putaran tersebut dikarenakan oleh perubahan kecepatan aliran fluida seiring dengan peningkatan nilai bilangan Reynolds. Kecepatan aliran fluida sangat berpengaruh terhadap nilai gaya drag pada *blade* turbin angin Savonius. Dimana, semakin besar kecepatan aliran, maka gaya drag yang diterima *blade* juga akan mengalami peningkatan nilai. Dengan demikian, selisih gaya drag yang diterima oleh kedua *blade* turbin angin Savonius

yaitu sisi *returning* dan *advancing* juga akan mengalami peningkatan. Sehingga peningkatan tersebut juga akan mempengaruhi nilai putaran dari turbin angin itu sendiri. Jika selisih tersebut mengalami peningkatan, maka semakin besar pula nilai putaran yang akan dihasilkan oleh turbin angin.

4.2.2 Analisa Nilai Torsi Terhadap Variasi Reynolds Number pada Turbin Angin Savonius Tanpa Plat Penghalang

Sub bab ini akan menjelaskan mengenai nilai dari torsi statis yang dimiliki oleh turbin angin Savonius terhadap nilai variasi Reynolds Number. Torsi statis yang diukur pada penelitian ini yaitu torsi pada saat *blade* dari turbin ini berada pada sudut 0° terhadap bidang tegak lurus aliran udara. Uji torsi statis dilakukan di tiga variasi bilangan Reynolds yaitu 30.000, 60.000 dan 90.000 menggunakan *torquemeter digital*. Adapun data yang didapatkan dari pengujian dapat dilihat pada gambar 4.2 sebagai berikut:



Gambar 4.2 Grafik torsi statis turbin Savonius tanpa plat penghalang (T_0) terhadap bilangan Reynolds (Re)

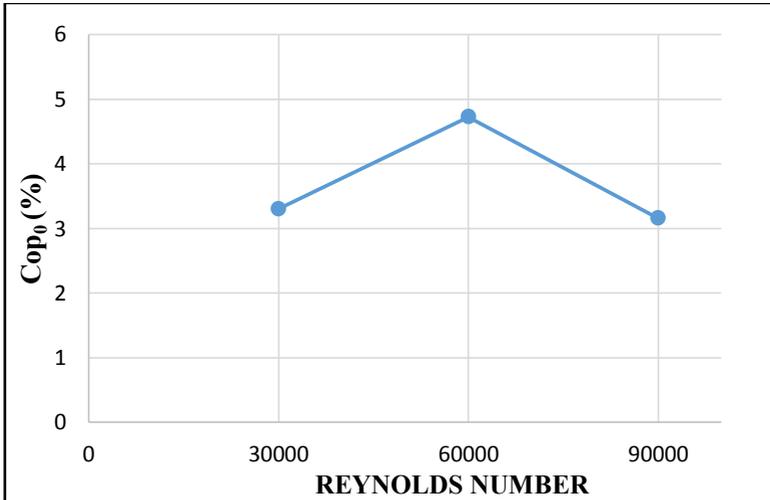
Pada gambar 4.2 menunjukkan nilai torsi statis yang dihasilkan oleh turbin angin Savonius sebagai fungsi Reynolds Number tanpa pemberian plat penghalang didepan *returning blade* turbin Savonius. Dari gambar tersebut terlihat bahwa nilai torsi statis pada turbin angin pada posisi tegak lurus aliran udara mengalami peningkatan seiring dengan kenaikan dari nilai bilangan Reynolds. Peningkatan tersebut diakibatkan oleh meningkatnya nilai bilangan Reynolds yang mempengaruhi kenaikan kecepatan dari aliran fluida, sehingga menyebabkan nilai *drag* pada *blade* turbin angin mengalami peningkatan. Gaya *drag* yang meningkat dipengaruhi oleh beberapa hal seperti nilai koefisien *drag*, luas penampang dan juga kecepatan aliran fluida. Sehingga, semakin besar kecepatan fluida maka akan semakin besar pula gaya *drag* pada suatu *blade* turbin angin. Pada turbin angin ini, gaya *drag* terbesar berpusat pada titik tengah *blade* turbin, dimana dari titik tersebut memiliki nilai jari-jari yang bertumpu kepada poros yang digunakan oleh turbin angin Savonius sehingga mengakibatkan adanya torsi statis pada turbin tersebut.

Perbedaan bentuk penampang *blade* pada turbin angin Savonius ini juga menjadi salah satu penyebab adanya perbedaan gaya *drag*. Dimana, semakin besar nilai selisih gaya *drag* diantara kedua *blade* tersebut akan menyebabkan peningkatan nilai torsi statis pada turbin angin.

4.2.3 Analisa Nilai *Coefficient of power* Terhadap Variasi Reynolds Number pada Turbin Angin Savonius Tanpa Plat Penghalang

Pada pengujian ini, daya *output* yang dihasilkan oleh turbin angin berasal dari perkalian torsi dinamis dengan putaran turbin yang didapatkan dari pengukuran menggunakan *Brake Dynamometer*. Adapun, saat daya

output sudah didapatkan maka akan dibagi dengan nilai daya *input* dari turbin angin sehingga didapat nilai *coefficient of power* dari turbin angin di setiap bilangan Reynolds. Gambar 4.3 merupakan data hasil pengujian yang dilakukan yaitu sebagai berikut:



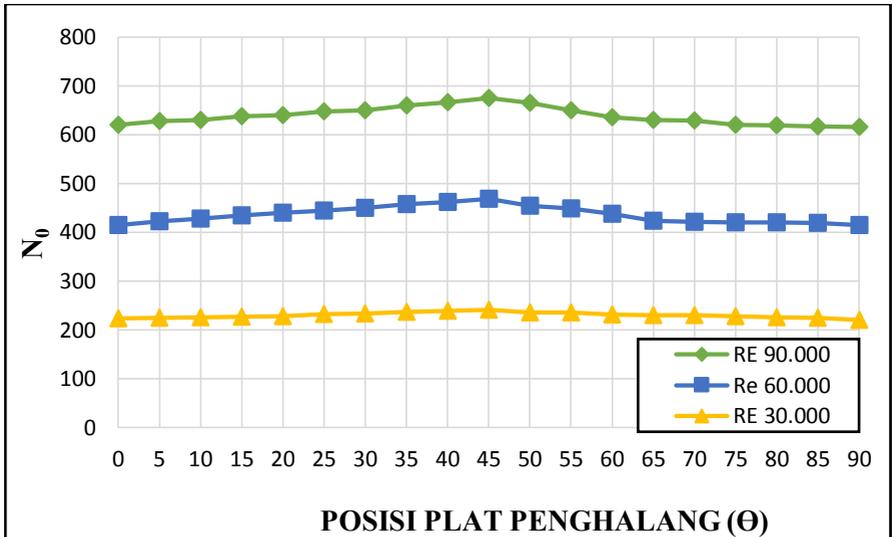
Gambar 4.3 Grafik nilai *coefficient of power* turbin Savonius tanpa plat penghalang (CoP₀) terhadap bilangan Reynolds (Re)

Dari gambar diatas menunjukkan grafik koefisien daya turbin tanpa plat penghalang terhadap bilangan Reynolds. Dimana pengukuran daya didapatkan seperti data diatas yaitu nilai CoP₀ pada nilai bilangan Reynolds 30.000 adalah 3.3%, untuk bilangan Reynolds 60.000 yaitu 4.7% dan juga untuk bilangan Reynolds 90.000 adalah 3.1%. Dari data tersebut diketahui bahwa nilai daya meningkat kemudian turun yaitu pada nilai bilangan Reynolds terbesar. Hal tersebut terjadi dikarenakan kemampuan turbin angin Savonius terhadap

nilai kecepatan yang tinggi tidak begitu baik. Sebab, jenis turbin angin ini merupakan jenis turbin yang cocok untuk kecepatan angin yang rendah. Selain itu, perumusan daya turbin terdapat faktor daya *input* yang memiliki fungsi perpangkatan tiga dari kecepatan fluida aliran. Dimana, seiring dengan meningkatnya nilai bilangan Reynolds akan meningkatkan pula kecepatan aliran fluida, maka nilai daya *input* akan menjadi lebih besar dengan faktor perpangkatan tiga yang menyebabkan kecenderungan koefisien daya akan menurun seperti grafik diatas.

4.3 Analisa Nilai Putaran yang Dihasilkan Turbin Angin Savonius Terhadap Sudut Plat Penghalang

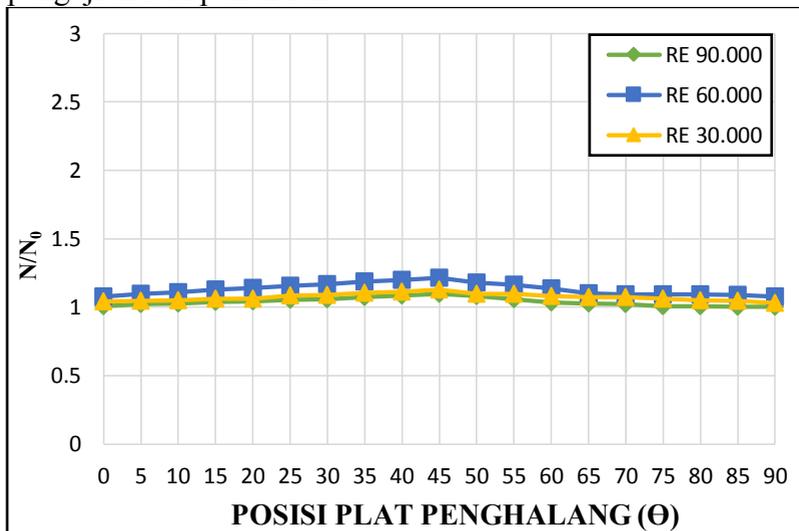
Data yang didapat dari penelitian menggunakan plat penghalang didepan turbin angin salah satunya adalah analisa nilai putaran yang didapatkan dari turbin angin. Dimana, putaran ini merupakan parameter pengujian untuk mengukur performa dari turbin angin Savonius. Plat penghalang diletakan tepat didepan sisi *returning blade* dari turbin angin dengan memberikan variasi sudut peletakan. Pengambilan dilakukan untuk nilai bilangan Reynolds 30.000, 60.000 dan 90.000. Adapun data yang didapatkan terdapat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik nilai putaran yang dihasilkan turbin Savonius terhadap sudut plat penghalang

Terlihat bahwa pada data yang disajikan pada gambar 4.4 putaran yang dihasilkan turbin setelah diletakkan plat penghalang dengan variasi tiga bilangan Reynolds memiliki *trendline* yang cenderung sama untuk ketiganya. Dimana, saat sudut 0^0 merupakan titik paling rendah kemudian meningkat hingga posisi sudut yang optimum di 45^0 kemudian turun kembali setelah melewati sudut optimum hingga sudut 90^0 . Pada ketiga variasi tersebut menunjukkan bahwa putaran terbesar terjadi pada nilai bilangan Reynolds 90.000 kemudian 60.000 dan 30.000. Hal ini sama halnya dengan nilai putaran tanpa plat penghalang, dimana peningkatan bilangan Reynolds juga di pengaruhi oleh kecepatan aliran fluida yang kemudian akan meningkatkan nilai dari putaran dari turbin angin.

Dengan penambahan plat penghalang di sisi *returning* akan mengarahkan aliran kearah *advancing* dan meningkatkan kecepatan dari aliran fluida di sisi *advancing* yang berpengaruh pula terhadap laju massa aliran udara yang diterima oleh *advancing blade* turbin angin. Sehingga pertambahan laju massa aliran udara yang diterima *advancing blade* turbin angin Savonius akan menyebabkan putaran turbin meningkat. Selain itu, pemberian plat penghalang didepan sisi *returning blade* akan menyebabkan gaya *drag* pada sisi *returning* mengecil dan sisi *advancing* mendapatkan gaya *drag* yang lebih besar. Dengan selisih yang besar seperti ini akan menyebabkan peningkatan putaran turbin dengan plat penghalang dibandingkan tanpa plat penghalang didepannya. Peningkatan yang terjadi dapat dilihat pada gambar 4.5 dibawah yang merupakan data hasil pengujian dari penelitian.



Gambar 4.5 Grafik peningkatan nilai putaran yang dihasilkan turbin Savonius terhadap sudut plat penghalang

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa dari ketiga bilangan Reynolds menunjukkan n/n_0 memiliki nilai lebih dari satu sehingga dari data tersebut menunjukkan bahwa putaran turbin terjadi peningkatan saat diberikan penghalang didepan sisi *returning*. Ketiga bilangan Reynolds diatas menunjukkan bentuk *trendline* yang cenderung sama. Dimana perlahan meningkat hingga sudut tertentu lalu turun perlahan hingga sudut 90^0 . Pemberian plat penghalang mempengaruhi nilai putaran dari turbin angin Savonius dimana plat dengan nilai $L/D = 1,414$ memiliki nilai sudut kenaikan putaran terbesar pada sudut 45^0 . Pada sudut ini, nilai dengan bilangan Reynolds = 60.000 memiliki peningkatan yang paling besar yaitu sebesar yaitu sebesar 1,216 kali dari tanpa plat penghalang. Dimana, nilai putarannya mencapai 469 rpm dari sebelumnya yang memiliki nilai 385,6 rpm.

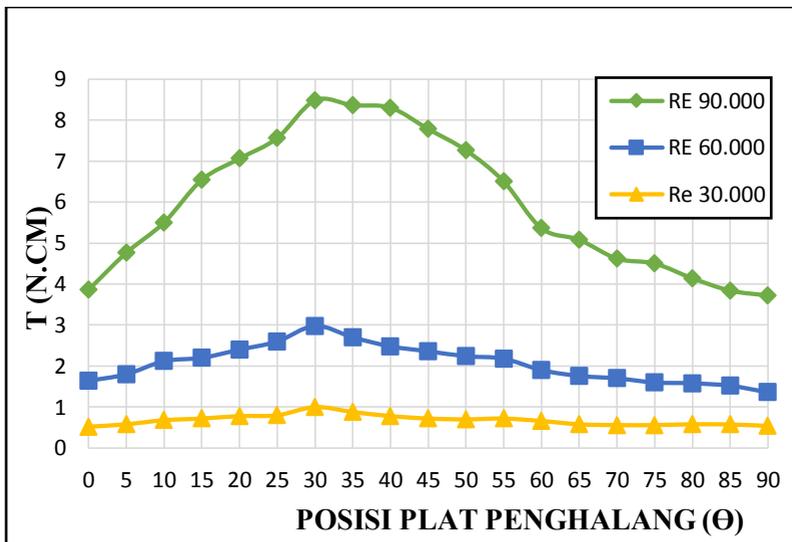
Selanjutnya peningkatan setelah bilangan Reynolds = 60.000 terjadi pada nilai bilangan Reynolds = 30.000 dengan kenaikan sebesar 1,126 kali dari tanpa plat penghalang. Dan terakhir disusul oleh nilai bilangan Reynolds = 90.000 yang memiliki kenaikan sebesar 1,09 kali dari putaran tanpa plat penghalang. Pemberian plat penghalang selain memiliki fungsi untuk mengarahkan aliran dari sisi *returning* menuju sisi *advancing*, hal ini juga bertujuan untuk memperkecil gaya *drag* dan laju aliran massa udara pada sisi *returning*. Sehingga nilai *drag* dan laju aliran massa udara pada sisi *advancing* akan lebih besar dan menyebabkan selisih diantara kedua *blade* menjadi lebih besar. Oleh karena itu, putaran yang dihasilkan akan meningkat dari sebelum diletakan plat penghalang. Peningkatan tersebut menunjukkan peningkatan hingga sudut 45^0 dan berangsur menurun setelahnya. Fenomena tersebut disebabkan oleh sudut setelah sudut 45^0 telah memberikan celah untuk aliran fluida masuk kearah sisi

returning blade. Dikarenakan pada sudut diatas 45° , plat sudah tidak menutup dengan optimal sisi *returning* turbin angin Savonius yang menyebabkan sisi *returning blade* memiliki peningkatan gaya *drag*, hal tersebut terjadi pada saat sudut bukaan diperbesar mengakibatkan aliran udara mulai memasuki kembali ke sisi *returning blade* yang mana hal tersebut mampu memperkecil selisih gaya *drag* kedua *blade*. Selain itu, bukaan sudut yang semakin membesar juga memberikan aliran fluida menuju sisi *advancing blade* menjadi lebih kecil karena luasan aliran udara yang diarahkan plat menjadi lebih sempit dan menyebabkan aliran udara yang menuju sisi *advancing* menurun. Hal ini yang akan memperkecil *drag* dari sisi *advancing* sehingga selisih dari laju aliran masa udara dan gaya *drag* menjadi lebih kecil sehingga mengakibatkan *trendline* putaran semakin menurun pada sudut yang lebih besar.

Ketika bukaan plat 90° nilai N/N_0 pada semua bilangan Reynolds masih melebihi satu, yang menandakan terjadinya kenaikan putaran turbin jika dibandingkan dengan kondisi tanpa plat. Hal ini disebabkan karena ketika plat berada pada posisi 90° , ketebalan plat 3 mm dan engsel poros dengan ukuran 10 mm, mengakibatkan *wake* pada aliran udara yang mengalir menuju sisi *upstream returning blade* turbin. Terbentuknya *wake* menyebabkan tekanan pada sisi *returning blade* akan berkurang, dan tekanan pada sisi *advancing blade* akan bernilai hampir sama dengan posisi tanpa plat. Dengan berkurangnya tekanan pada sisi *returning blade*, maka selisih gaya *drag* antara kedua sudu akan meningkat yang akan meningkatkan nilai torsi statis turbin jika dibandingkan dengan kondisi tanpa menggunakan plat penghalang.

4.4 Analisa Nilai Torsi Statis yang Dihasilkan Turbin Angin Savonius Terhadap Sudut Plat Penghalang

Pada penelitian ini dilakukan pengujian terhadap nilai torsi statis yang dimiliki turbin angin Savonius disaat turbin berada pada posisi tidak berputar. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *torquemeter digital* yang diletakan pada poros turbin angin Savonius, dan saat posisi *blade* tepat tegak lurus arah aliran udara. Adapun hasil yang didapatkan dari pengujian terlihat pada grafik 4.6 berikut:



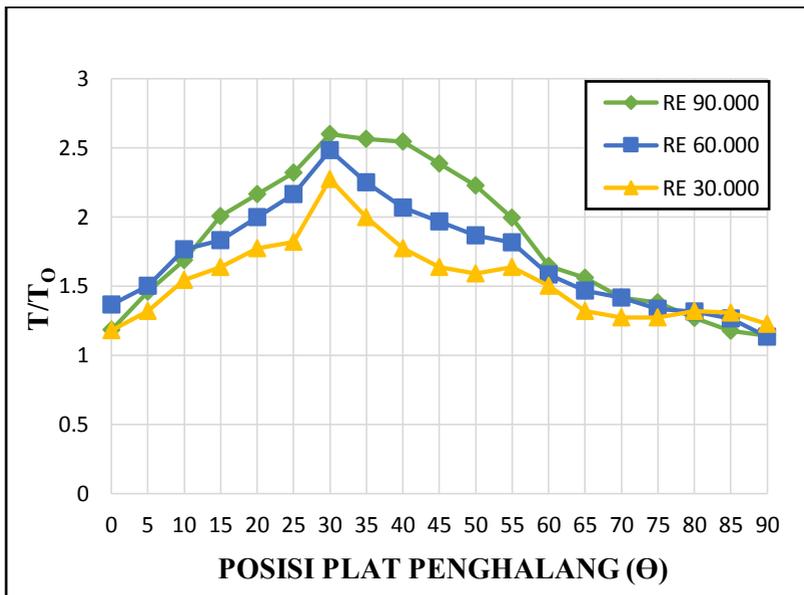
Gambar 4.6 Grafik nilai torsi statis yang dihasilkan turbin Savonius terhadap sudut plat penghalang

Dari gambar 4.6 menunjukkan nilai torsi dari turbin angin di tiga bilangan Reynolds saat diberikan plat penghalang pada sisi depan *returning blade*. Penggunaan variasi ketiga bilangan Reynolds tersebut terlihat bahwa *trendline* dari ketiganya sama yaitu memiliki peningkatan

pada sudut tertentu dan kemudian menurun. Pada grafik diatas, nilai torsi statis terbesar terjadi pada nilai bilangan Reynolds yang tinggi, sama dengan turbin angin dengan tanpa plat penghalang. Hal ini dapat terjadi dikarenakan meningkatkan nilai bilangan Reynolds akan meningkatkan pula kecepatan aliran udara yang menjadi salah satu faktor dari gaya *drag* yang akan diterima oleh kedua *blade* turbin angin.

Sisi *advancing* dan *returning* memiliki bentuk penampang yang berbeda sehingga hal ini yang akan mempengaruhi koefisien *drag* yang berbeda pula. Sehingga dengan meningkatnya kecepatan aliran udara makan selisih gaya *drag* diantara kedua *blade* tersebut juga akan mengalami peningkatan. Gaya *drag* yang terjadi pada kedua *blade* turbin angin memiliki nilai titik pusat kerja yang berada pada jarak tertentu dari poros turbin angin sehingga menghasilkan nilai torsi statis. Nilai torsi statis tersebut akan mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan selisih gaya *drag* diantara kedua *blade* dan posisi terbesar dari torsi statis bergantung dari peletakan plat penghalang. Adapun torsi statis terbesar terdapat pada nilai sudut 30^0 dimana pada posisi ini, pusat gaya *drag* telah mengalami pergeseran dari sisi *advancing* sehingga lengan torsi semakin panjang dan didapatkan nilai torsi yang optimum. Pada sudut diatas sudut optimum terjadi penurunan dikarenakan pusat gaya *drag* bergeser menjadi lebih pendek karena mengarah ke poros dari turbin angin. Hal ini yang mengakibatkan torsi statis menurun dan nilai torsi di beberapa sudut besar mengalami penurunan dibawah nilai torsi sudut 0^0 dikarenakan plat sudah tidak menutupi sisi *returning* sepenuhnya sehingga ada aliran udara yang mengalir ke arah *returning* dan menyebabkan adanya nilai torsi yang arahnya berlawanan dengan torsi yang

dihasilkan oleh sisi *advancing*. Hal tersebut yang menyebabkan selisih nilai torsi menjadi menurun. Sehingga, semakin besar bukaan sudut plat penghalang, maka akan menghasilkan nilai torsi statis yang kecil pula. Adapun terdapat dalam grafik nilai diantara satu sudut dengan sudut lain memiliki nilai yang hampir sama disebabkan oleh ketelitian dan kepastian nilai alat ukur serta metode pengambilan data dari sudut terkecil hingga terbesar sama yaitu pengambilan yang dilakukan dengan mengambil nilai rata-rata dari lima kali pengambilan data sehingga memungkinkan nilai yang hampir sama dikarenakan pengambilan data yang dilakukan dengan marata-ratakan nilai data yang diperoleh dari alat ukur.



Gambar 4.7 Grafik nilai peningkatan torsi statis yang dihasilkan turbin Savonius terhadap sudut plat penghalang

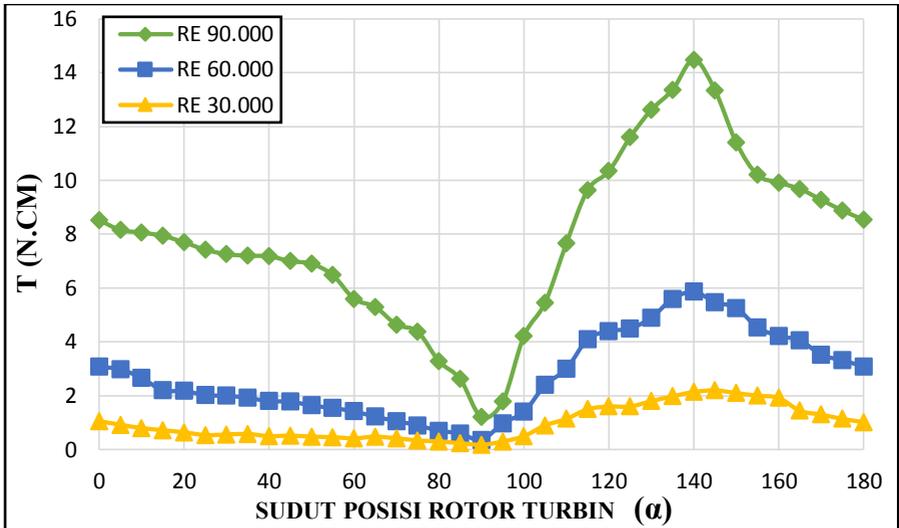
Gambar 4.7 diatas menunjukkan grafik kenaikan nilai torsi statis dari tanpa penghalang dengan yang menggunakan plat penghalang di depan *returning blade*. Dari grafik tersebut terlihat bahwa nilai perbandingan T/T_0 memiliki nilai diatas satu. Dari data tersebut menunjukkan bahwa dengan pemberian plat penghalang memiliki fungsi untuk meningkatkan nilai torsi pada turbin angin. Peningkatan yang terjadi pada turbin angin disebabkan oleh plat penghalang di depan sisi *returning* yang memperkecil nilai gaya *drag* yang pada sisi *returning*. Oleh karena itu, selisih *drag* kedua *blade* yang meningkat akan menyebabkan peningkatan pula pada nilai torsi statis yang dihasilkan. Adapun fungsi plat penghalang adalah mengalirkan aliran udara yang mengarah ke sisi *returning* untuk bergerak menuju sisi *advancing* pada turbin angin dan mengakibatkan sisi *advancing* memiliki nilai *drag* yang lebih besar. Peningkatan tersebut yang menyebabkan selisih gaya *drag* dikedua *blade* akan meningkat pula. Seperti yang terlihat pada gambar 4.7 bahwa torsi statis berada pada nilai bilangan Reynolds 90.000 dengan peningkatan sebesar 2,601 kali dan 60.000 dengan peningkatan 2,483 kali serta 30.000 mengalami peningkatan 2,272 kali dari tanpa plat penghalang. Peningkatan tersebut memiliki peningkatan yang cukup tinggi pada bilangan Reynolds 90.000 dengan kenaikan sebesar 26%. Adapun pada data yang didapatkan menunjukn *trendline* yang selalu turun setelah sudut tertentu. Hal ini diakibatkan oleh torsi statis yang dipengaruhi oleh gaya dan panjang lengan dari turbin angin. Dimana plat penghalang di sisi depan *returning* dapat mengarahkan aliran udara kearah sisi *advancing*, hal ini yang mempengaruhi besar gaya *drag* yang bekerja dan letak pusat gaya *drag* yang diterima oleh turbin angin Savonius sebagai faktor nilai torsi statis suatu turbin angin. Dengan

perbandingan nilai T/T_0 yang memiliki nilai diatas satu maka pemberian plat penghalang mampu meningkatkan performa turbin angin. Namun, ketika bukaan plat 90° nilai T/T_0 pada semua bilangan Reynolds masih melebihi satu, yang menandakan terjadinya kenaikan nilai torsi turbin jika dibandingkan dengan kondisi tanpa plat. Hal ini sama seperti pada pembahasan sebelumnya untuk nilai N/N_0 dimana hal ini diakibatkan oleh tebal plat penghalang dan tebal dari engsel poros yang digunakan saat penelitian.

. Sedangkan nilai yang berhimpit diantara sudut besar dikarenakan ketelitian alat ukur dan adanya faktor eksternal serta pembacaan alat ukur oleh peneliti pada saat pengambilan data yang menyebabkan terjadinya ketidakpastian dalam pengukuran pada saat penelitian.

4.5 Analisa Nilai Torsi Statis Terhadap Sudut Bukaan Sudu Turbin Angin Savonius Terhadap Plat Penghalang pada Sudut Optimum

Gambar 4.8 dibawah ini menunjukkan grafik torsi statis bukaan sudu turbin angin Savonius terhadap plat penghalang dengan posisi plat dalam keadaan sudut optimum. Pengukuran dilakukan dengan mengukur torsi statis turbin dalam keadaan tidak berputar dan diberikan variasi aliran tiga bilangan Reynolds yang berbeda. Plat diletakan pada posisi 30° dengan bukaan sudut sudu dalam rentang 0° sampai dengan 180° .



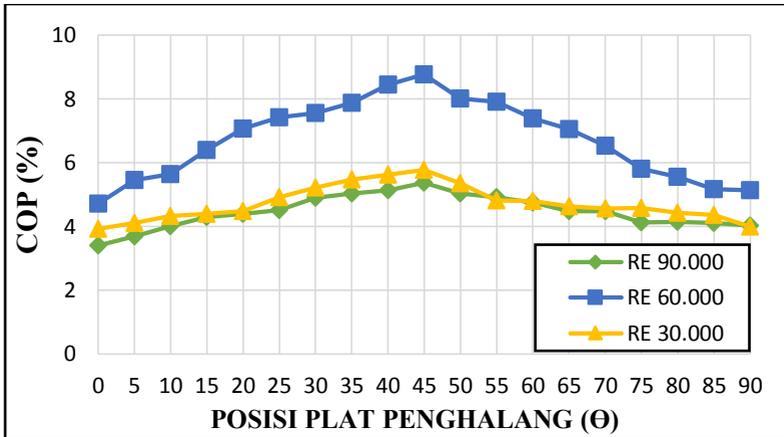
Gambar 4.8 Grafik nilai peningkatan torsi statis yang dihasilkan oleh bukaan sudu turbin Savonius pada saat penghalang berada pada posisi sudut torsi statis optimum

Gambar 4.8 didapatkan bahwa nilai dengan bilangan Reynolds 90.000 merupakan nilai bilangan Reynolds yang memiliki nilai torsi tertinggi dengan nilai 14,48 N.cm pada sudut sudu bukaan 140° dan terendah pada nilai bilangan Reynolds 30.000 pada sudut 140° dengan nilai 2,14 N.cm serta bilangan Reynolds 60.000 memiliki nilai tertinggi di 5,86 N.cm. Sedangkan untuk sudu bukaan terendah terdapat pada sudu bukaan pada sudut 90° dengan nilai torsi statis pada bilangan Reynolds 90.000 adalah 1,2 N.cm, 60.000 pada 0,36 N.cm dan 30.000 di nilai 0,18 N.cm. Dari ketiga variasi bilangan Reynolds tersebut memiliki sudut bukaan tertinggi dan terendah yang sama dan memiliki bentuk *trendline* yang cenderung sama. Adapun hasil bukaan saat 0° dan 180° memiliki nilai yang tidak terlalu jauh bahkan hampir

mendekati sama, dimana pengukuran torsi statis tidak selalu mendapatkan hasil positif melainkan pengukuran didapati nilai negative yang kemudian di rata-ratakan dari kelima pengukuran sehingga hasil yang di dapat pada grafik diatas bernilai positif. Hal ini membuktikan bahwa nilai torsi statis pada turbin dipengaruhi oleh arah datangnya aliran *fluida*. Dan kemampuan *self-starting* turbin Savonius baik dengan nilai yang positif pada semua posisi sudut dikarenakan mampu menangkap angin dari berbagai posisi.

4.6 Analisa *Coefficient of power* yang Dihasilkan Turbin Angin Savonius Terhadap Sudut Plat Penghalang

Pengukuran pengambilan data nilai CoP ini dilakukan dengan perbandingan nilai daya *output* dengan daya *input*. Dimana, mengambil nilai daya *output* turbin menggunakan perkalian torsi dinamis dengan kecepatan angular dari turbin angin. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan variasi peletakan plat penghalang di depan sisi *returning* dengan kenaikan sudut 5^0 dimulai dari sudut 0^0 sampai dengan 90^0 . Sedangkan untuk variasi bilangan Reynolds-nya adalah 30.000, 60.000 dan 90.000. Adapun hasil data dari pengujian penelitian ini adalah sebagai berikut:

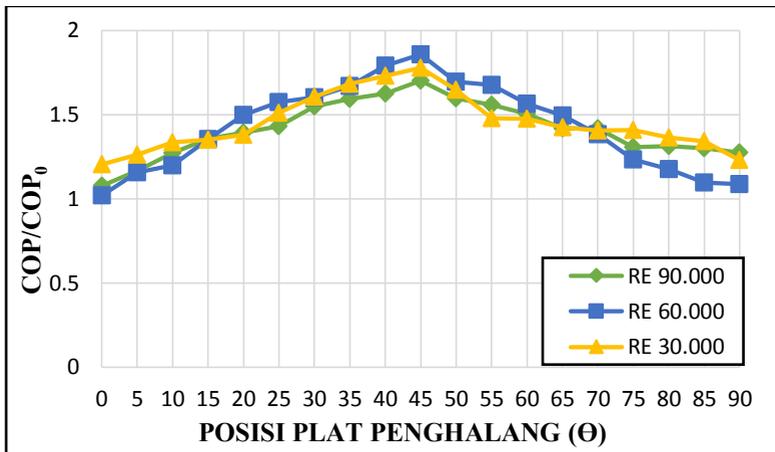


Gambar 4.9 Grafik nilai CoP yang dihasilkan turbin Savonius terhadap sudut plat penghalang

Pada gambar 4.9 terlihat bahwa grafik CoP pada saat diberikan plat penghalang di depan *returning blade*. Gambar tersebut menunjukkan bahwa nilai CoP terbesar berada pada nilai bilangan Reynolds 60.000 dengan nilai 8,76% kemudian bilangan Reynolds 30.000 dengan nilai 5,78% dan terendah adalah bilangan Reynolds 90.000 dengan nilai CoP 5,37%. Nilai CoP didapatkan dari perbandingan daya *output* turbin dengan daya *input* turbin. Adapun perbandingan tersebut menghasilkan CoP yang tertera pada data diatas dan menunjukkan bahwa posisi sudut optimum pada ketiga bilangan Reynolds sama yaitu pada sudut 45⁰ hal ini berbeda dengan hasil dari pengukuran torsi statis.

Dimana pada data ini menunjukkan bahwa nilai CoP pada plat L/D =1.414 memiliki nilai optimum pada sudutnya sendiri yaitu pada sudut 45⁰ karena pada saat itu plat berada dalam keadaan optimal menutupi seluruh bagian sisi *returning blade*.

Adapun penurunan yang terjadi diatas sudut optimum disebabkan oleh bukaan plat yang sudah tidak menutupi daerah *returning* secara keseluruhan yang mengakibatkan adanya aliran udara yang masuk ke dalam sisi *returning* dan memperkecil selisih gaya *drag* kedua *blade*.



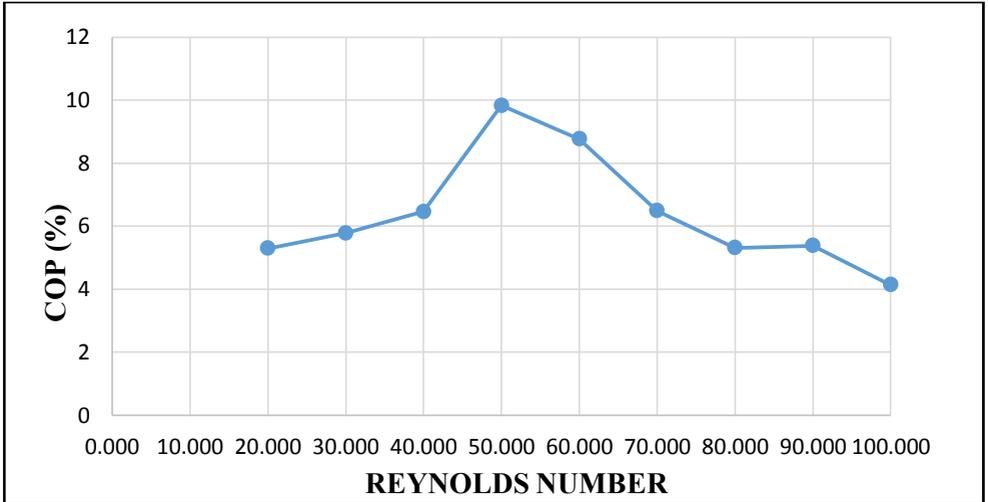
Gambar 4.10 Grafik peningkatan nilai *Coefficient of power* yang dihasilkan turbin Savonius terhadap sudut plat penghalang

Gambar 4.10 merupakan grafik perbandingan nilai CoP tanpa plat penghalang dengan menggunakan plat penghalang. Dari gambar tersebut terlihat bahwa nilai CoP/CoP₀ memiliki nilai perbandingan terkecil sama dengan satu diantara semua variasi nilai bilangan Reynolds. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian plat meningkatkan performa dari turbin angin Savonius. Jika perbandingan CoP/CoP₀ memiliki nilai dibawah satu maka pemberian plat penghalang tidak terlalu mempengaruhi dari efisiensi turbin angin Savonius. Adapun nilai kenaikan ketiga bilangan Reynolds

tersebut memiliki nilai kenaikan yang berbeda-beda dan didapatkan bahwa kenaikan terbesar terjadi pada nilai bilangan Reynolds 60.000 dengan kenaikan sebesar 1,857 kali dari turbin dengan keadaan tanpa plat penghalang. Adapun bilangan Reynolds 60.000 memiliki nilai terbesar dikarenakan kemampuan turbin angin Savonius itu sendiri dalam mengubah energi kinetik udara menjadi energi mekanik dan efisiensi dari jenis turbin angin Savonius yang rendah. Dimana turbin angin Savonius merupakan tipe turbin yang akan maksimal berputar di kecepatan aliran udara yang rendah. Sehingga nilai bilangan Reynolds 90.000 memiliki nilai CoP terendah karena kecepatan aliran fluida yang dimiliki bilangan Reynolds tersebut cukup besar. Dengan kenaikan CoP ini juga dapat diketahui bahwa pemberian penghalang efektif untuk meningkatkan performa turbin Savonius yang rendah.

Pada grafik 4.10 terlihat juga bahwa pada sudut 90° memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan nilai pada saat tanpa plat penghalang. Hal ini dikarenakan pada ketika bukaan plat 90° nilai CoP/CoP_0 pada semua bilangan Reynolds masih melebihi satu, yang menandakan terjadinya kenaikan performa turbin jika dibandingkan dengan kondisi tanpa plat. Hal ini sama seperti pada pembahasan sebelumnya untuk nilai N/N_0 dimana hal ini diakibatkan oleh tebal plat penghalang dan tebal dari engsel poros yang digunakan saat penelitian. Adapun *Coefficient of power* terbesar yang dihasilkan turbin Savonius dengan pemberian plat penghalang $L/D = 1,414$ terdapat pada sudut 45° untuk ketiga variasi nilai bilangan Reynolds. Dengan mengetahui sudut optimum peletakan plat penghalang $L/D = 1.414$ maka diperlukan pengujian pada beragam jenis nilai bilangan Reynolds untuk mengetahui posisi bilangan Reynolds yang

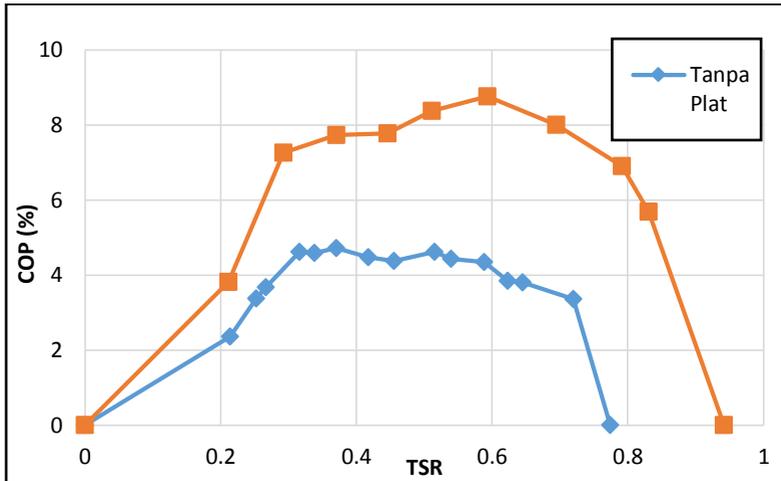
memiliki nilai CoP tertinggi pada peletakan plat di sudut yang optimum. Sehingga dari pengujian didapatkan data seperti pada gambar 4.11 berikut:



Gambar 4.11 Grafik nilai *coefficient of power* yang dihasilkan turbin Savonius terhadap berbagai Reynolds Number pada sudut optimum plat penghalang 45°

Gambar 4.11 menunjukkan bahwa nilai CoP terbesar saat posisi plat diletakan pada sudut 45° dimiliki oleh nilai bilangan Reynolds 50.000. Sehingga dari ketiga variasi bilangan Reynolds yang digunakan dalam penelitian ini, nilai optimum berada pada nilai bilangan Reynolds 60.000 karena daya turbin setelah bilangan Reynolds 60.000 akan menurun tajam hingga bilangan Reynolds terbesar.

4.7 Analisa *Coefficient of Power* pada Sudut 45° Terhadap Nilai *Tip Speed Ratio*



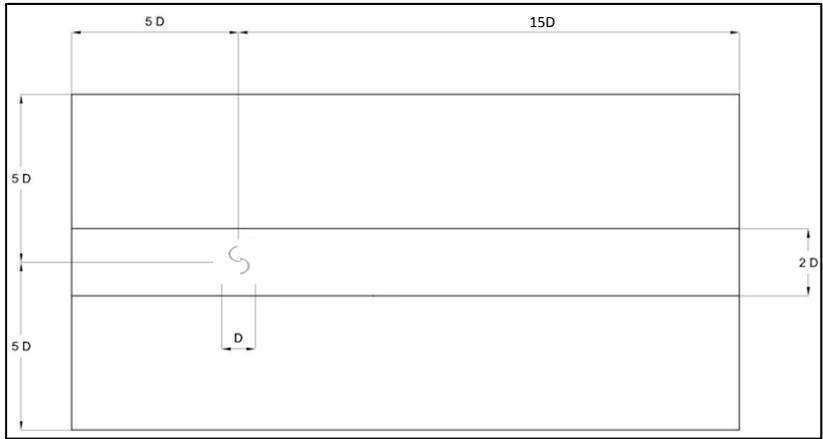
Gambar 4.12 Grafik nilai *coefficient of power* yang dihasilkan turbin Savonius terhadap *Tip Speed Ratio* pada sudut optimum plat penghalang 45° pada bilangan Reynold 60.000

Gambar 4.12 diatas menunjukkan nilai CoP terhadap nilai TSR pada plat penghalang $L/D = 1.414$ di posisi sudut optimum. Dari grafik tersebut terlihat bahwa terdapat peningkatan nilai CoP dengan menggunakan plat penghalang. Hal ini dikarenakan oleh kenaikan putaran dan torsi dari turbin yang menyebabkan nilai daya output memiliki nilai yang meningkat, sedangkan untuk daya input angin memiliki nilai yang sama. Kenaikan ini dipengaruhi salah satunya oleh turunnya gaya *drag* pada sisi *returning* yang disebabkan oleh adanya plat penghalang didepannya. Hal ini yang menyebabkan selisih nilai kedua blade semakin besar dan menyebabkan nilai torsi meningkat.

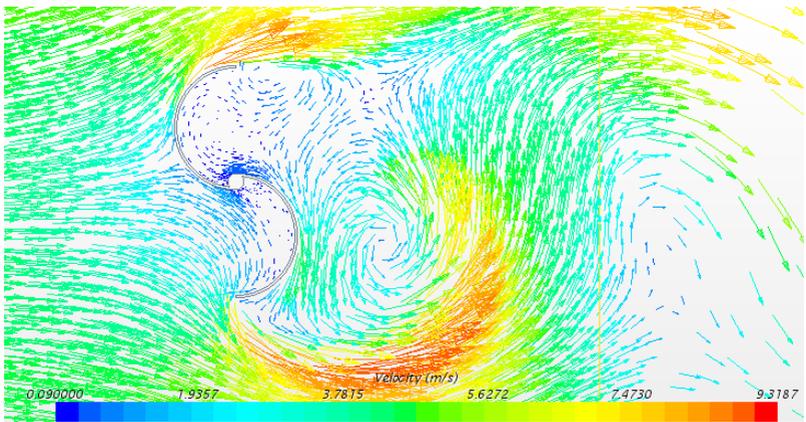
Fenomena ini mampu meningkatkan performa turbin angin Savonius dengan dibuktikan oleh nilai CoP yang meningkat dan nilai TSR yang semakin membesar ke arah kanan menuju nilai satu sesuai dengan teori *Betz*. Dimana daya turbin akan meningkat hingga nilai TSR tertentu dan kemudian turun kembali nilai daya-nya saat TSR tetap bergeser ke arah kanan yang disebabkan oleh turbin tidak mampu untuk menghasilkan daya lagi secara efektif. Namun dari grafik diatas menunjukkan adanya perbaikan efisiensi kecepatan putar dan performa dari turbin angin Savonius saat diberi penghalang dengan tanpa plat penghalang.

4.8 Analisa Simulasi pada Turbin Angin Savonius

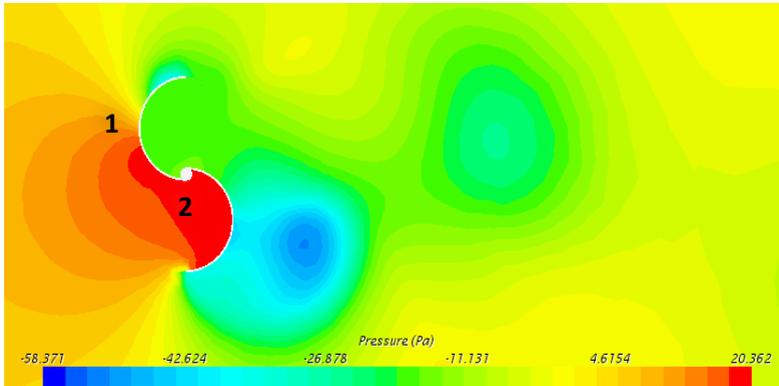
Untuk mengetahui bentuk dari aliran fluida yang melewati turbin angin maka dilakukan simulasi menggunakan software STAR CCM. Adapun hasil simulasinya adalah turbin angin tanpa plat penghalang dan dengan penghalang di bilangan Reynolds 60×10^4 seperti pada gambar 4.14 dibawah ini dimana dengan dimensi dari turbin angin Savonius pada simulasi ditunjukkan pada gambar 4.13



Gambar 4.13 Geometri turbin angin Savonius pada simulasi



(a)



(b)
Gambar 4.14 Simulasi turbin angin Savonius tanpa plat penghalang pada nilai Bilangan Reynolds 60×10^4 . (a) Vektor kecepatan ; (b) Tekanan.

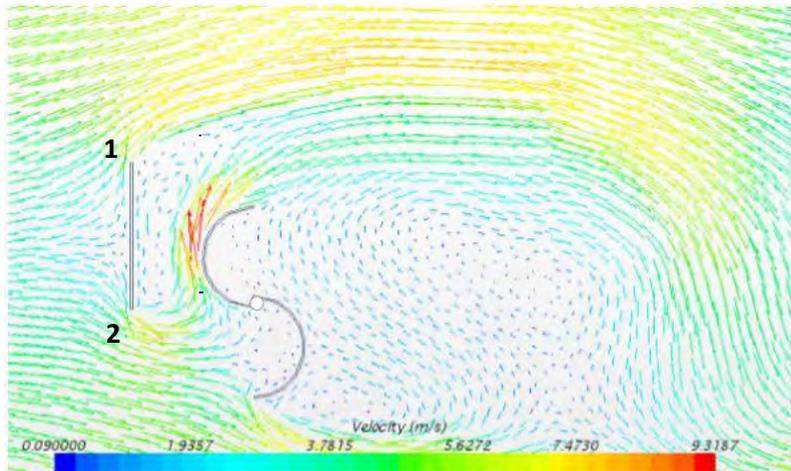
Pada gambar 4.14 (a) menunjukkan bentuk aliran dari nilai bilangan Reynolds 60×10^4 dimana terlihat bahwa pada bagian sisi *returning* dari turbin angin Savonius memiliki aliran yang mengarah kearah sisi sudu. Terlihat juga dari warna pada *returning blade* yang memiliki warna biru muda hingga hijau kekuningan. Simulasi ini dilakukan dengan software STAR CCM dengan *turbulence modelling k-epsilon realizable*, dengan skema diskretisasi *second order upwind*. mengaplikasikan fitur statis untuk mengetahui fenomena aliran fluida yang berada pada daerah turbin angin. Terlihat pada gambar simulasi bahwa nilai kecepatan yang terjadi disekitar ujung sudu turbin angin lebih tinggi dibanding kecepatan di depan sudu terlihat dari adanya warna merah.

Dari gambar 4.14 (b) merupakan simulasi turbin menggunakan STAR CCM untuk fungsi tekanan pada Reynolds 60×10^4 . Adapun dari simulasi tersebut terlihat

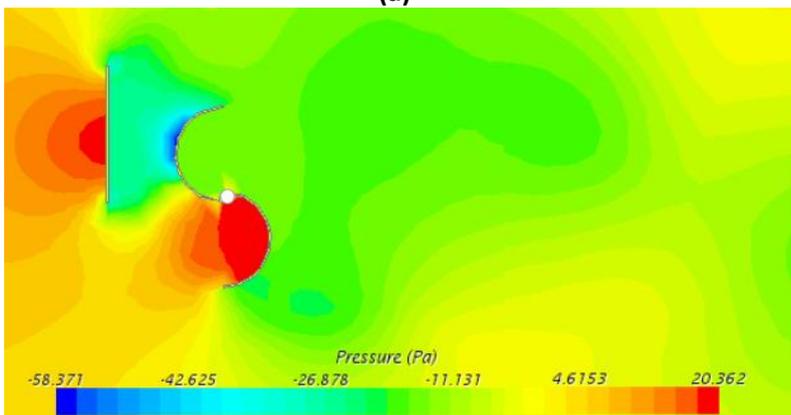
bahwa perbedaan tekanan (ΔP) tertinggi terjadi pada *advancing blade* sehingga membuat turbin berputar berlawanan arah dengan jarum jam. Adapun perbedaan tekanan yang besar diantara kedua sudu tersebut mengakibatkan nilai torsi yang tinggi. Tekanan yang terjadi pada daerah *returning* ditunjukkan oleh warna orange menuju merah kehijauan seperti nomor satu pada gambar, sedangkan pada sisi *advancing* ditunjukkan oleh warna merah seperti pada nomor dua pada gambar sehingga ini menunjukkan perbedaan tekanan diantara kedua sudu tersebut. Hal ini juga mampu membuktikan hasil eksperimen yang telah dibahas sebelumnya bahwa nilai torsi statis yang bekerja pada turbin angin yang digunakan pada bilangan Reynolds 60×10^4 memiliki nilai yang cukup tinggi setelah nilai bilangan Reynolds terbesar.

Untuk melihat perbedaan yang terjadi saat diberikan plat penghalang dan tanpa penghalang, maka dilakukan simulasi untuk pemberian plat penghalang di depan sisi *returning blade* dengan posisi 0^0 dimana posisi ini merupakan posisi awal yang digunakan untuk melihat perubahan karakteristik turbin saat diberi penghalang dan tanpa diberi penghalang. Pada gambar 4.15 merupakan hasil simulasi turbin angin dengan plat penghalang di nilai bilangan Reynolds 60×10^4 . Dimana turbin angin dapat berputar karena adanya perbedaan kecepatan yang mengakibatkan perbedaan tekanan. Besar kecepatan berbanding terbalik dengan besar tekanan dimana tekanan pada sisi *advancing blade* lebih besar dibandingkan dengan tekanan pada sisi *returning blade*. Hal ini menandakan bahwa dengan penambahan plat penghalang, kecepatan aliran udara pada sisi depan *returning blade* meningkat yang berarti tekanan dapat berkurang. Berkurangnya tekanan

menandakan bahwa gaya *drag* yang terjadi pada *returning blade* juga berkurang yang mengakibatkan selisih gaya *drag* kedua sudu akan meningkat yang akan meningkatkan torsi yang dihasilkan oleh turbin. Sehingga putaran turbin Savonius meningkat dibandingkan tanpa menggunakan plat.



(a)



(b)

Gambar 4.15 Simulasi turbin angin Savonius dengan plat penghalang pada nilai Bilangan Reynolds 60×10^4 fungsi kecepatan. (a) Vektor kecepatan (b) Tekanan

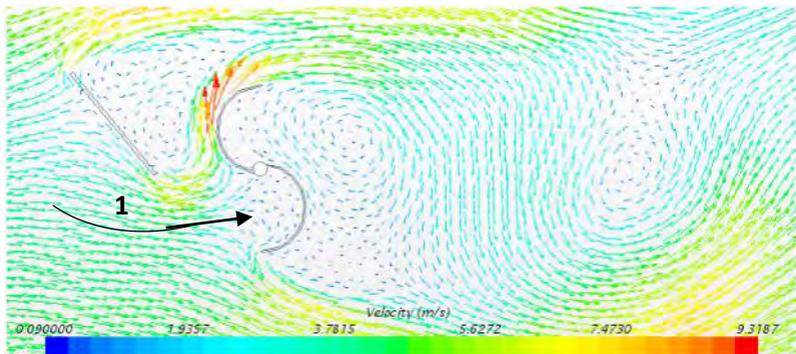
Gambar 4.15 menunjukkan simulasi turbin angin menggunakan plat penghalang di sisi *returning* pada sudut 0^0 . Pada simulasi tersebut menunjukkan bahwa plat penghalang pada sudut 0^0 memiliki fungsi menutup bagian *returning* untuk mengarahkan aliran pada sisi *advancing*. Namun dari gambar tersebut menunjukkan bahwa pada sudut tersebut plat mampu menutup semua bagian *returning* tetapi belum optimum dalam mengarahkan aliran kearah *advancing* karena aliran langsung menabrak sisi plat penghalang dan menyebar kesekitar bagian plat penghalang seperti pada gambar yang ditunjukkan oleh nomor satu dan dua, sehingga ini menyebabkan penghalang belum maksimal untuk mengalirkan aliran udara kearah sisi *returning*. Sehingga dari gambar terlihat warna kuning kehijauan masih terdapat pada sisi *returning* yang menunjukkan nilai kecepatan yang masih tinggi. Pada gambar 4.15 (b) juga menunjukkan tekanan pada sisi *advancing* dan *returning*, dimana perbandingan tekanan diantara kedua sudu ini mengalami peningkatan dikarenakan tekanan pada sisi *returning* menurun disebabkan oleh plat penghalang yang menahan aliran udara untuk menabrak sisi *returning*, terlihat terdapat warna biru kehijauan pada sisi *returning* yang menunjukkan rendahnya nilai tekanan pada sisi tersebut. Sedangkan untuk sisi *advancing* berwarna merah yang menunjukkan pada sisi tersebut memiliki tekanan yang besar sehingga selisih tekanan diantara kedua sudu tersebut meningkat dan mampu meningkatkan torsi dari turbin yang kemudian mampu meningkatkan performa turbin.

Pada sudut optimum plat penghalang $L/D = 1.414$ terjadi pada sudut 45^0 . Hasil tersebut diperlihatkan pada gambar 4.16. Pada posisi ini aliran udara menuju turbin dapat diarahkan menuju *advancing blade* hal ini menunjukkan adanya fenomena aliran yang terjadi pada turbin untuk konfigurasi penempatan plat datar penghalang dan mengetahui bahwa dengan adanya plat datar penghalang di depan *returning blade* dapat membuktikan terjadinya kenaikan performa turbin.

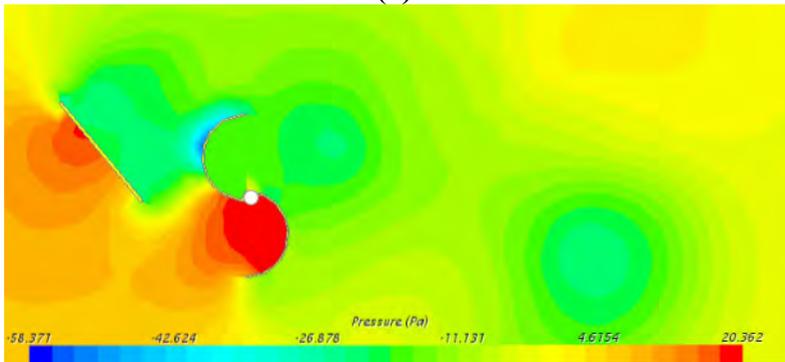
Pada gambar yang ditunjukkan oleh nomor satu, arah aliran yang menuju *returning* mengarah ke arah *advancing*, hal ini yang membuat nilai putaran turbin meningkat saat diberikan plat penghalang dan terjadi kenaikan nilai torsi yang mampu meningkatkan nilai *coefficient of power* yang cukup besar saat posisi plat diletakan pada sudut ini. Hal ini juga disebabkan oleh sudut 45^0 yang menutup seluruh bagian dari sisi *returning* dan memperlihatkan aliran yang menumbuk plat penghalang tersebut mampu dialirkan lebih banyak ke arah *advancing* daripada ke bagian sekitar plat penghalang seperti fenomena aliran pada simulasi dengan plat penghalang di posisi sudut 0^0 . Oleh karena itu, hal ini yang menyebabkan selisih gaya *drag* kedua sudu tersebut semakin besar dan meningkatkan performa dari turbin angin.

Pada gambar 4.16 (b) diperlihatkan fenomena distribusi tekanan yang terjadi pada turbin Savonius dengan penambahan plat penghalang dengan sudut 45^0 . Dimana pada gambar tersebut terlihat sisi *advancing* berwarna merah dengan nilai tekanan 20,362 Pa dan pada sisi *returning* memiliki warna yang mayoritas hijau kuning dan biru yang menunjukkan nilai tekanan yang rendah pada sisi tersebut sesuai dengan nilai range pada gambar.

Hal ini menunjukkan bahwa dengan meletakkan plat penghalang di depan sisi *returning blade* mampu menurunkan tekanan pada sisi *returning*. Sehingga, dengan menurunnya tekanan pada sisi *returning* akan meningkatkan tekanan pada sisi *advancing* dan selisih tekanan diantara kedua sudu tersebut meningkat hingga mampu meningkatkan nilai torsi dan performa dari turbin Savonius.



(a)



(b)

Gambar 4.16 Simulasi turbin angin Savonius dengan plat penghalang pada nilai Bilangan Reynolds 60.000 sudut plat penghalang 45°

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa yang dilakukan dari penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh plat penghalang didepan *returning blade* turbin angin Savonius terhadap performa turbin didapatkan beberapa kesimpulan diantaranya adalah:

1. Plat penghalang didepan sisi *returning* turbin angin Savonius dapat meningkatkan performa turbin terlihat dari meningkatnya nilai putaran, torsi statis dan nilai *coefficient of power* yang dihasilkan turbin pada semua variasi sudut dan variasi Reynolds yang digunakan.
2. Plat penghalang dengan rasio $L/D = 1,414$ memiliki penempatan sudut paling efektif pada sudut 45^0 dan Reynolds 60.000 untuk nilai *coefficient of power* dengan kenaikan sebesar 1,85 kali setelah menggunakan plat penghalang.
3. Plat penghalang dengan rasio $L/D = 1,414$ memiliki nilai sudut efektif untuk torsi statis pada saat peletakan dilakukan saat sudut 30^0 dan nilai Reynolds 90.000 dengan kenaikan sebesar 2,60 kali setelah menggunakan plat penghalang.
4. Peningkatan nilai putaran dengan kenaikan 1,216 kali pada Reynolds 60.000 setelah diberikan plat penghalang pada sudut bukaan 45^0 .
5. Semakin besar nilai TSR maka akan meningkatkan nilai *coefficient of power* dari turbin angin Savonius pada nilai TSR tertentu.

6. Untuk *design* dan ukuran turbin Savonius yang digunakan pada penelitian ini mempunyai performa optimum pada bilangan Reynolds 60.000 dibandingkan variasi bilangan Reynolds lainnya yaitu 30.000 dan 90.000.

5.2 Saran

Adapun saran mengenai penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini masih kurang memperhatikan aspek dari metode pengukuran yang tepat dan juga alat pengukuran yang sesuai untuk penelitian yang dilakukan.
2. Dimensi benda uji yang digunakan dalam penelitian agar memiliki ukuran yang lebih besar untuk mengurangi kesalahan dalam pengukuran.
3. Perlu dilakukan validasi hasil eksperimen dengan numerik secara keseluruhan baik dari segi kontur dari bentuk aliran maupun hasil dari simulasi.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

1. Al-Shemmeri, T. 2010. *Wind Turbines*: First Edition. ISBN 978-87-7681-692-6
2. Dewan Energi Nasional. 2014. *Outlook Energi Indonesia*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Jakarta
3. Filippone, A. 1999. *Advanced Topics in Aerodynamics*. Internet Book. <http://aerodyn.org/>
4. Fox, Robert W. dan Mc. Donald, Alan T. 1998. *Introduction to fluid Mechanics, 5th edition, John Wiley and Son, Inc.*
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. J. Ross Ian. 2010. *Wind tunnel blockage corrections: an application to vertical-axis wind turbines*. University of Dayton. Ohio.
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.
8. M.H. Mohamed, G. Janiga, E. Pap dan D. Thevenin. 2010. *Optimal blade shape of a modified Savonius turbine using an obstacle shielding the returning*

- blade. Energy Conversion and Management*; 52 (2011) 236–242.
9. N.H. Mahmoud, EL-Haroun, A.A, Wahba, E, dan Nasef, M.H. 2010. *An experimental study on improvement of Savonius rotor performance. Renewable Energy* 35 (2010) 2618-2626
 10. P. Bradshaw. 1979. *The design of low-speed wind tunnel*. National Physical Laboratory. Teddington.
 11. Pinske, J.D. 1993. *Elektrische Energieerzeugung, 2.vollst. ueberarb*. Aufl., BG.Teubner, Stuttgart.
 12. Priandika, Yoga. 2016. *Studi eksperimen pengaruh sudut plat pengganggu di depan returning blade turbin angin tipe Savonius terhadap performa turbin*. “Studi kasus untuk rasio plat pengganggu terhadap diameter turbin $L/D = 1,4144$ ”. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
 13. Sheldahl RE, Klimas PC. 1981. *Aerodynamic characteristics of seven symmetrical airfoil sections through 180-degree angle of attack for use in aerodynamic analysis of vertical axis wind turbines*. Technical report SAND 80-2114, Sandria National Laboratories.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Tabel A1. Data putaran turbin Savonius

θ	n			n/n ₀		
	Re = 30.000	Re = 60.000	Re = 90.000	Re = 30.000	Re = 60.000	Re = 90.000
0	85	326	365	1.04	1.08	1.01
5	89	244	365	1.05	1.10	1.02
10	114	215	323	1.05	1.11	1.03
15	94.8	255.8	325	1.06	1.13	1.04
20	97	224	315	1.06	1.14	1.04
25	106	245	323	1.08	1.15	1.05
30	92	205	315	1.09	1.17	1.06
35	96	214	324	1.10	1.19	1.07
40	74	214	315	1.11	1.20	1.09
45	86	222	315	1.13	1.22	1.10
50	94	243	324	1.10	1.18	1.08
55	84.6	240	317	1.10	1.16	1.06
60	84	244	322	1.08	1.14	1.03
65	81	215	361	1.08	1.10	1.03
70	94	248	361	1.08	1.09	1.02
75	95	245	354	1.06	1.09	1.01
80	92	234	356	1.05	1.09	1.01
85	90	245	353	1.05	1.09	1.00
90	83	244	346	1.03	1.08	1.00

Tabel A2. Data torsi statis turbin Savonius

θ	T			T/T ₀		
	Re = 30.000	Re = 60.000	Re = 90.000	Re = 30.000	Re = 60.000	Re = 90.000
0	0.52	1.64	3.86	1.18	1.37	1.18
5	0.58	1.8	4.76	1.32	1.50	1.46
10	0.68	2.12	5.5	1.55	1.77	1.69
15	0.72	2.2	6.54	1.64	1.83	2.01
20	0.78	2.4	7.06	1.77	2.00	2.17
25	0.8	2.6	7.56	1.82	2.17	2.32
30	1	2.98	8.48	2.27	2.48	2.60
35	0.88	2.7	8.36	2.00	2.25	2.56
40	0.78	2.48	8.3	1.77	2.07	2.55
45	0.72	2.36	7.78	1.64	1.97	2.39
50	0.7	2.24	7.26	1.59	1.87	2.23
55	0.72	2.18	6.5	1.64	1.82	1.99
60	0.66	1.9	5.36	1.50	1.58	1.64
65	0.58	1.76	5.08	1.32	1.47	1.56
70	0.56	1.7	4.62	1.27	1.42	1.42
75	0.56	1.6	4.5	1.27	1.33	1.38
80	0.58	1.58	4.14	1.32	1.32	1.27
85	0.575	1.52	3.84	1.31	1.27	1.18
90	0.54	1.36	3.72	1.23	1.13	1.14

Tabel A3. Data CoP dan TSR turbin Savonius

Θ	CoP (%)			TSR		
	Re = 30.000	Re = 60.000	Re = 90.000	Re = 30.000	Re = 60.000	Re = 90.000
0	3.92	4.72	3.40	0.34	0.65	0.49
5	4.10	5.46	3.68	0.36	0.49	0.49
10	4.34	5.65	4.02	0.46	0.43	0.43
15	4.39	6.40	4.29	0.38	0.51	0.43
20	4.48	7.06	4.40	0.39	0.45	0.42
25	4.91	7.42	4.52	0.43	0.49	0.43
30	5.22	7.56	4.90	0.37	0.41	0.42
35	5.47	7.88	5.04	0.39	0.43	0.43
40	5.62	8.46	5.13	0.30	0.43	0.42
45	5.78	8.76	5.38	0.34	0.45	0.42
50	5.36	8.01	5.04	0.38	0.49	0.43
55	4.81	7.91	4.92	0.34	0.48	0.42
60	4.80	7.39	4.75	0.34	0.49	0.43
65	4.63	7.06	4.48	0.33	0.43	0.48
70	4.57	6.53	4.48	0.38	0.50	0.48
75	4.58	5.81	4.13	0.38	0.49	0.47
80	4.44	5.55	4.15	0.37	0.47	0.48
85	4.36	5.17	4.11	0.36	0.49	0.47
90	4.00	5.13	4.03	0.33	0.49	0.46

Tabel A4. Data perhitungan CoP dan TSR pada $Re = 3 \times 10^4$

Θ	n (rpm)	m (gr)	s (gr)	R (mm)	A turbin (m ²)	U (m/s)	ρ (kg/m ³)	ω (rad/s)	T (Nm)	COP (%)	TSR
0	84.6	3	25	10.5	0.05706	2.48	1.1772	8.859291	0.002266	3.92	0.34
5	88.6	3	25	10.5	0.05706	2.48	1.1772	9.27817	0.002266	4.10	0.36
10	114.4	2	20	10.5	0.05706	2.48	1.1772	11.97994	0.001834	4.34	0.46
15	94.8	3	25	10.5	0.05706	2.48	1.1772	9.927433	0.002266	4.39	0.38
20	96.8	3	25	10.5	0.05706	2.48	1.1772	10.13687	0.002266	4.48	0.39
25	106	3	25	10.5	0.05706	2.48	1.1772	11.10029	0.002266	4.91	0.43
30	91.8	3	30	10.5	0.05706	2.48	1.1772	9.613274	0.002781	5.22	0.37
35	96.2	3	30	10.5	0.05706	2.48	1.1772	10.07404	0.002781	5.47	0.39
40	74.2	4	40	10.5	0.05706	2.48	1.1772	7.770206	0.003708	5.62	0.30
45	85.8	3	35	10.5	0.05706	2.48	1.1772	8.984955	0.003296	5.78	0.34
50	94.2	3	30	10.5	0.05706	2.48	1.1772	9.864601	0.002781	5.36	0.38
55	84.6	3	30	10.5	0.05706	2.48	1.1772	8.859291	0.002781	4.81	0.34
60	84.4	3	30	10.5	0.05706	2.48	1.1772	8.838347	0.002781	4.80	0.34
65	81.4	3	30	10.5	0.05706	2.48	1.1772	8.524188	0.002781	4.63	0.33
70	94.4	2	25	10.5	0.05706	2.48	1.1772	9.885545	0.002369	4.57	0.38
75	94.6	2	25	10.5	0.05706	2.48	1.1772	9.906489	0.002369	4.58	0.38
80	91.6	2	25	10.5	0.05706	2.48	1.1772	9.59233	0.002369	4.44	0.37
85	90	2	25	10.5	0.05706	2.48	1.1772	9.424778	0.002369	4.36	0.36
90	82.6	2	25	10.5	0.05706	2.48	1.1772	8.649852	0.002369	4.00	0.33

Tabel A5. Data perhitungan CoP dan TSR pada $Re = 6 \times 10^4$

θ	n (rpm)	m (gr)	s (gr)	R (mm)	A turbin (m^2)	U (m/s)	ρ (kg/m^3)	ω (rad/s)	T (Nm)	COP (%)	TSR
0	326	15	70	10.5	0.05706	4.96	1.1772	34.15958413	0.005665275	4.72	0.65
5	244	25	110	10.5	0.05706	4.96	1.1772	25.5725642	0.008755425	5.46	0.49
10	215	30	130	10.5	0.05706	4.96	1.1772	22.47285945	0.0103005	5.65	0.43
15	255.8	25	120	10.5	0.05706	4.96	1.1772	26.78731336	0.009785475	6.40	0.51
20	224	20	140	10.5	0.05706	4.96	1.1772	23.41538724	0.0123606	7.06	0.45
25	245	25	140	10.5	0.05706	4.96	1.1772	25.67728396	0.011845575	7.42	0.49
30	205	30	170	10.5	0.05706	4.96	1.1772	21.48849375	0.0144207	7.56	0.41
35	214	30	170	10.5	0.05706	4.96	1.1772	22.38908364	0.0144207	7.88	0.43
40	214	30	180	10.5	0.05706	4.96	1.1772	22.43097155	0.01545075	8.46	0.43
45	222	30	180	10.5	0.05706	4.96	1.1772	23.24778564	0.01545075	8.76	0.45
50	243	25	150	10.5	0.05706	4.96	1.1772	25.4887884	0.012875625	8.01	0.49
55	240	25	150	10.5	0.05706	4.96	1.1772	25.17462913	0.012875625	7.91	0.48
60	244	25	140	10.5	0.05706	4.96	1.1772	25.5725642	0.011845575	7.39	0.49
65	215	25	150	10.5	0.05706	4.96	1.1772	22.47285945	0.012875625	7.06	0.43
70	248	20	120	10.5	0.05706	4.96	1.1772	25.97049927	0.0103005	6.53	0.50
75	245	20	110	10.5	0.05706	4.96	1.1772	25.69822791	0.00927045	5.81	0.49
80	234	20	110	10.5	0.05706	4.96	1.1772	24.5463106	0.00927045	5.55	0.47
85	245	20	100	10.5	0.05706	4.96	1.1772	25.69822791	0.0082404	5.17	0.49
90	244	30	100	10.5	0.05706	4.96	1.1772	25.50973255	0.0082404	5.13	0.49

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

Θ	n (rpm)	m (gr)	s (gr)	R (mm)	A turbin (m^2)	U (m/s)	ρ (kg/m^3)	ω (rad/s)	T (Nm)	COP (%)	TSR
0	365	70	190	10.5	0.05706	7.45	1.1772	38.22271062	0.0123606	3.40	0.49
5	365	70	200	10.5	0.05706	7.45	1.1772	38.20176667	0.01339063	3.68	0.49
10	323	80	240	10.5	0.05706	7.45	1.1772	33.84542485	0.0164808	4.02	0.43
15	325	80	250	10.5	0.05706	7.45	1.1772	34.05486436	0.01751085	4.29	0.43
20	315	80	260	10.5	0.05706	7.45	1.1772	32.98672286	0.0185409	4.40	0.42
25	323	80	260	10.5	0.05706	7.45	1.1772	33.86636881	0.0185409	4.52	0.43
30	315	80	280	10.5	0.05706	7.45	1.1772	33.00766681	0.020601	4.90	0.42
35	324	80	280	10.5	0.05706	7.45	1.1772	33.95014461	0.020601	5.04	0.43
40	315	80	290	10.5	0.05706	7.45	1.1772	32.94483496	0.02163105	5.13	0.42
45	315	80	300	10.5	0.05706	7.45	1.1772	32.96577891	0.0226611	5.38	0.42
50	324	80	280	10.5	0.05706	7.45	1.1772	33.97108856	0.020601	5.04	0.43
55	317	80	280	10.5	0.05706	7.45	1.1772	33.17521842	0.020601	4.92	0.42
60	322	80	270	10.5	0.05706	7.45	1.1772	33.6988172	0.01957095	4.75	0.43
65	361	80	240	10.5	0.05706	7.45	1.1772	37.7619437	0.0164808	4.48	0.48
70	361	80	240	10.5	0.05706	7.45	1.1772	37.7619437	0.0164808	4.48	0.48
75	354	80	230	10.5	0.05706	7.45	1.1772	37.11268121	0.01545075	4.13	0.47
80	356	80	230	10.5	0.05706	7.45	1.1772	37.28023282	0.01545075	4.15	0.48
85	353	80	230	10.5	0.05706	7.45	1.1772	36.96607356	0.01545075	4.11	0.47
90	346	80	230	10.5	0.05706	7.45	1.1772	36.19114737	0.01545075	4.03	0.46

BIODATA PENULIS



Penulis, Nabila Prastiya Putri merupakan anak pertama dari dua bersaudara, yang lahir pada tanggal 27 September 1995 di Jakarta. Penulis memulai pendidikannya di TK Islam Amalina (2000 - 2001). Kemudian melanjutkan pendidikan di SDN Pesanggrahan 10 Pagi Jakarta (2002-2007), SMPN 177 Jakarta Selatan (2007-2010), SMAN 47 Jakarta Selatan (2010-2013). Setelah menyelesaikan pendidikan SMA pada tahun 2013, penulis melanjutkan pendidikan ke tahap perguruan tinggi di S1 Teknik Mesin ITS (2013-2017) melalui SNMPTN Undangan.

Semasa SMA penulis aktif dalam Organisasi Siswa Intra Sekolah (OSIS) SMAN 47 Jakarta sebagai Bendahara Umum (2011-2012). Sedangkan semasa kuliah, Penulis aktif di AIESEC Surabaya sebagai staff OGCDP, Himpunan Mahasiswa Mesin sebagai staff ahli pengajaran (2015 – 2016), dan Tim ITS FSAE Elektrik dibawah MOLINA ITS. Prestasi yang pernah diraih semasa kuliah yang pernah diraih penulis yaitu sebagai *Student Exchange Participant* di Universiti Teknologi Petronas Malaysia (2015), Best Paper Nuclear Youth Summit dari BATAN dan Universitas Indonesia (2014), Beasiswa Prestasi Marga Jaya dari PT. Jaya, T.bk. (2007 – 2017) . Penulis dapat dihubungi melalui email nabilaprastiyaputri@gmail.com

(Halaman ini sengaja dikosongkan)