



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TM184835

STUDI EKSPERIMEN PENINGKATAN KINERJA TURBIN ANGIN SAVONIUS DENGAN PENEMPATAN SILINDER SIRKULAR DI DEPAN RETURNING BLADE

“Studi Kasus Dengan Ukuran Silinder Pengganggu
 $d/D=0,5$; $y/D=0,5$; $S/D=2,2$; $V=3,8$ m/s; 4,4 m/s; 5 m/s; 6
m/s; 7 m/s; 8 m/s; 9 m/s”

DIONISIUS JEREMIA
NRP. 02111640000103

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Tri Yogi Yuwono, DEA

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



TUGAS AKHIR - TM184835

STUDI EKSPERIMEN PENINGKATAN KINERJA TURBIN ANGIN SAVONIUS DENGAN PENEMPATAN SILINDER SIRKULAR DI DEPAN RETURNING BLADE

**“Studi Kasus Dengan Ukuran Silinder Pengganggu
 $d/D=0,5$; $y/D=0,5$; $S/D=2,2$; $V=3,8$ m/s; 4,4 m/s; 5 m/s; 6
m/s; 7 m/s; 8 m/s; 9 m/s”**

**DIONISIUS JEREMIA
NRP. 02111640000103**

**Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Tri Yogi Yuwono, DEA**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020**



FINAL PROJECT - TM184835

EXPERIMENTAL STUDY ON IMPROVEMENT OF SAVONIUS WIND TURBINE PERFORMANCE BY PLACING CIRCULAR CYLINDER IN FRONT OF THE RETURNING BLADE

“Case study for consideration $d/D=0,5$; $y/D=0,5$;
 $S/D=2,2$; $V=3,8$ m/s; 4,4 m/s; 5 m/s; 6 m/s; 7 m/s; 8 m/s;
9 m/s”

DIONISIUS JEREMIA
NRP. 02111640000103

Counselor Lecturer
Prof. Dr. Ir. Tri Yogi Yuwono, DEA

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty Of Industrial Technology And Systems Engineering
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2020

HALAMAN PENGESAHAN

STUDI EKSPERIMEN PENINGKATAN KINERJA TURBIN ANGIN SAVONIUS DENGAN PENEMPATAN SILINDER SIRKULAR DI DEPAN RETURNING BLADE Studi Kasus untuk Ukuran Silinder Pengganggu $d/D = 0,5$; pada $S/D=2,2$; $y/D=0,5$; Kecepatan Angin 3,8; 4,4; 5 ; 6; 7; 8 dan 9 (m/s)

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

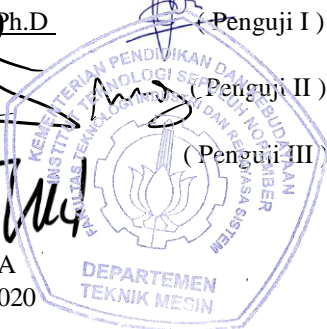
Dionisius Jeremia

NRP. 02111640000103

Disetujui oleh:

1. Prof. Dr. Ir. Tri Yogi Yuwono, DEA. (Pembimbing)
NIP. 196001291987011001
2. Vivien Suphandani Djanali, S.T, M.E., Ph.D (Penguji I)
NIP. 198105292003122001
2. Nur Ikhwan, S.T, M.Eng (Penguji II)
NIP. 196709151995121001
3. Prof. Ir. Sutardi, M.Eng, Ph.D (Penguji III)
NIP. 196412281990031002

SURABAYA
AGUSTUS, 2020



STUDI EKSPERIMEN PENINGKATAN KINERJA TURBIN ANGIN SAVONIUS DENGAN PENEMPATAN SILINDER SIRKULAR DI DEPAN *RETURNING BLADE*

“Studi Kasus dengan Ukuran Silinder Pengganggu $d/D = 0,5$; $y/D = 0,5$; $S/D = 2,2$; $V = 3,8$ m/s; 4,4 m/s; 5 m/s; 6 m/s; 7 m/s; 8 m/s; 9 m/s”

Nama : Dionisius Jeremia
NRP : 02111640000103
Departemen : Teknik Mesin FTIRS-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Tri Yogi Yuwono, DEA

ABSTRAK

Berdasarkan laporan *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) pada tahun 2018, ketersediaan karbon dioksida dunia yang berhubungan dengan energi akan habis pada 2030. Agar dapat kembali ke jalan yang ditetapkan pada Persetujuan Paris (Persetujuan PBB tentang perubahan iklim), emisi tahunan dunia harus berkurang sebesar 3.5% setiap tahunnya hingga tahun 2050 dan seterusnya. Indonesia memiliki kapasitas energi angin sebesar 9.29 GW, menurut kementerian energi dan sumber daya mineral. Kecepatan angin di Indonesia berkisar antara 4 m/s hingga 6 m/s, menurut Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), oleh sebab itu dibutuhkan turbin angin yang dapat beroperasi dengan kecepatan angin sebesar itu. Turbin angin Savonius dapat bergerak pada kecepatan angin rendah sehingga cocok dengan kondisi iklim di Indonesia, namun memiliki efisiensi terendah dibanding turbin jenis lainnya sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi dari turbin ini.

Eksperimen ini menggunakan turbin angin Savonius bersudu dua dengan diameter sudu turbin (D) sebesar 167 mm, tinggi (H) sebesar 298 mm, diameter poros (b) sebesar 19 mm, dan

diameter *end plate* (D_0) sebesar 320 mm. Penelitian ini menggunakan silinder pengganggu dengan diameter (d) sebesar 63 mm yang diletakkan di depan *returning blade* untuk mengurangi gaya *drag* pada *returning blade*. Angin berasal dari *axial fan* yang melewati *honeycomb* agar aliran udara menjadi *uniform*. *Voltage regulator* digunakan untuk mengatur kecepatan *axial fan*. Rasio diameter pengganggu terhadap diameter sudut turbin (d/D) adalah 0,5 dengan rasio jarak dari titik pusat turbin sampai titik pusat silinder pengganggu terhadap diameter sudu turbin (S/D) sebesar 2,2 dengan variasi kecepatan angin sebesar 3,8 m/s; 4,4 m/s; 5 m/s, 6 m/s, 7 m/s, 8 m/s, 9 m/s. Kecepatan angin diukur menggunakan anemometer, torsi dinamis diukur menggunakan *brake dynamometer*, *Coefficient of Static Torque* diukur menggunakan *torque meter* dan putaran turbin diukur menggunakan tachometer.

Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah penempatan silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin pada posisi $S/D = 2,2$ efektif meningkatkan *Coefficient of Power* turbin angin Savonius pada kecepatan angin 3,8 m/s hingga 9 m/s, dibuktikan dengan terjadinya peningkatan nilai CoP maksimum turbin untuk semua variasi kecepatan angin. Peningkatan nilai CoP terbesar turbin terdapat pada kecepatan angin 3,8 m/s, yaitu sebesar 80,5%. Penempatan silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin pada posisi $S/D = 2,2$ juga efektif meningkatkan *Coefficient of Moment* turbin angin Savonius pada kecepatan angin 3,8 m/s hingga 9 m/s, dibuktikan dengan terjadinya peningkatan nilai C_M maksimum turbin untuk semua variasi kecepatan angin. Peningkatan nilai C_M terbesar turbin terdapat pada kecepatan angin 4,4 m/s, yaitu sebesar 26,15%. Penempatan silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin pada posisi $S/D = 2,2$ efektif meningkatkan kemampuan *self starting* turbin pada kecepatan angin 3,8 m/s hingga 9 m/s, dibuktikan dengan nilai *Coefficient of Static Torque* yang cenderung semakin mendekati nol dibandingkan turbin tanpa menggunakan silinder pengganggu. Turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu diletakkan di depan *returning blade* pada posisi $S/D = 1,6$ yang dialiri angin

berkecepatan 3,8 m/s memiliki peningkatan nilai *Coefficient of Power* maksimum terbesar, yaitu sebesar 173%.

Kata Kunci : Turbin angin Savonius, silinder pengganggu, *coefficient of power, coefficient of moment*

EXPERIMENTAL STUDIES ON THE EFFECT OF DISTURBANCE CYLINDER ON THE PERFORMANCE OF SAVONIUS WIND TURBINE

*“Case Study for $d/D = 0,5$; $y/D = 0,5$; $S/D = 2,2$; $V = 3,8$ m/s;
4,4 m/s; 5 m/s; 6 m/s; 7 m/s; 8 m/s; 9 m/s”*

Name : Dionisius Jeremia
NRP : 02111640000103
Department : Teknik Mesin FTIRS-ITS
Conselor Lecturer : Prof. Dr. Ir. Tri Yogi Yuwono, DEA

ABSTRACT

Based on the Intergovernmental Panel on Climate Change's (IPCC) report in 2018, the world's carbon dioxide availability which is related to energy will be depleted in 2030. In order to return to the path that was set at Paris Agreement (United Nation's agreement about climate change), world's annual emissions must decrease about 3.5% every year until the year 2050 and so on. Indonesia has a wind energy capacity of 9.29 GW, according to the Ministry of Energy and Mineral Resources. Indonesia's wind speed ranging from 4 m/s to 6 m/s, according to Aviation and Space Institution, therefore wind turbine which can operate at that wind speed is needed. Savonius wind turbine can operate at low wind speed, so it fiCt with Indonesia's climate condition. This turbine has the lowest efficiency, compared to other types of the turbine; therefore, further research to increase the turbine's efficiency is needed.

This experiment uses two blades Savonius turbine with turbine's blade diameter (D) of 167 mm, height (H) of 298 mm, axis diameter (b) of 19 mm, and endplate diameter (D_0) of 320 mm. This research uses disturbance in the form of a cylinder which has a diameter (d) of 63 mm that is placed in front of returning the

blade to reduce drag force exerting on returning blade. The wind is coming from the axial fan through the honeycomb, so the airflow becomes uniform. The voltage regulator is used to adjust the axial fan's speed. Disturbance's diameter and turbine's blade diameter ratio (d/D) is 0.5 with distance from turbine's centre point to disturbance's centre point and turbine's blade diameter ratio (S/D) of 2.2 with wind speeds of 3.8 m/s; 4.4 m/s; 5 m/s; 6 m/s; 7 m/s; 8 m/s; 9 m/s. Wind speed is measured using an anemometer, and dynamic torque is measured using brake dynamometer, static torque is measured using torque meter, dan turbine's rotation is measured using a tachometer.

Result obtained from this research are the placement of disturbance in front of returning blade at S/D of 2.2 is effective in increasing Savonius wind turbines' Coefficient of Power at wind speeds of 3.8 m/s to 9 m/s, proven with an increase in the value of turbines' maximum CoP for all wind speed variations. The maximum increase in the value of turbines' CoP is at a wind speed of 3.8 m/s, with the value of 80.5%. Placement of disturbance in front of returning blade at S/D of 2.2 is also effective in increasing Savonius wind turbines' Coefficient of Moment at wind speeds of 3.8 m/s to 9 m/s, proven with an increase in the value of turbine's maximum C_m for all wind speed variation. The maximum increase in the value of turbines' maximum C_m is at a wind speed of 4.4 m/s, with the value of 26.15%. Placement of disturbance in front of returning blade at S/D of 2.2 is effective in increasing turbines' self-starting ability at a wind speed of 3.8 m/s to 9 m/s, proven with the value of static torque that tends to approach zero, compared to the turbine without disturbance. Savonius wind turbine with disturbance placed in front of returning blade at S/D of 1.6 which flowed with 3.8 m/s wind, have the biggest increase in the value of turbines' maximum Coefficient of Power, with the amount of 173%.

Keywords: Savonius wind turbine, disturbance cylinder, coefficient of power, coefficient of moment

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan YME atas berkat, rahmat dan kebesaran-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul “STUDI EKSPERIMEN PENINGKATAN KINERJA TURBIN ANGIN SAVONIUS DENGAN PENEMPATAN SILINDER SIRKULAR DI DEPAN RETURNING BLADE” Studi Kasus Dengan Ukuran Silinder Pengganggu $d/D=0,5$; $y/D=0,5$; $S/D=2,2$; $V=3,8$ m/s; 4,4 m/s; 5 m/s; 6 m/s; 7 m/s; 8 m/s; 9 m/s.

Selama menyelesaikan tugas akhir ini penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Keluarga tercinta, orang tua dan kakak, terima kasih atas dorongan semangatnya, bantuan dan dukungannya selama ini sehingga laporan ini dapat selesai dengan baik.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Tri Yogi Yuwono, DEA selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing dengan sabar dan sangat mensupport saya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Sahabat saya Yusuf, Wildhan, Ghusti, Nadia, juga angkatan M59 yang telah memberikan semangat, dukungan, dan membantu dalam Tugas Akhir ini
4. Pihak-pihak lain yang tidak bisa disebutkan penulis satu persatu.

Demikian laporan ini penulis buat, semoga laporan ini dapat memberikan manfaat selain bagi penulis sendiri, dan bagi pembaca sekalian.

Surabaya, 11 Agustus 2020
Penulis

Dionisius Jeremia
NRP. 02111640000103

Daftar Isi

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iv
Daftar Isi	vii
BAB I	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Batasan Masalah	8
1.4 Tujuan	9
1.5 Manfaat Penelitian	9
2.1 Turbin Angin	11
2.2 Turbin Angin Savonius	12
2.3 Gaya Drag	13
2.4 Aliran Melintasi Sebuah Silinder	14
2.5 Bilangan Reynolds	16
2.6 Coefficient of Static Torque	17
2.7 Coefficient of Power	18
2.8 Tip Speed Ratio	21
2.9 Penelitian Terdahulu	22
2.9.1 Penelitian Peningkatan Performa Kerja Turbin Angin Savonius dengan Variasi Geometri	23
2.9.2 Penelitian Peningkatan Performa Turbin Savonius dengan Penghalang	28

2.9.3 Penelitian turbin angin Savonius <i>single stage</i> dengan poros tengah dan tanpa poros tengah	34
2.9.4 Penelitian Peningkatan Performa Turbin Angin Savonius dengan Silinder Perganggu di Depan Returning Blade turbin.	38
BAB III	61
3.1 Parameter yang Diukur	61
3.2 Analisa Dimensi	63
3.2.1 Analisa Dimensi untuk <i>Coefficient of Power</i>	63
3.2.2 Analisa Dimensi untuk <i>Coefficient of Moment</i>	66
3.3 Peralatan	69
3.3.1 Axial Fan	69
3.3.2 Benda Uji.....	70
3.3.3 Penyangga Turbin Angin Savonius	72
3.3.5 Alat Ukur.....	75
3.4 Langkah Pengukuran.....	81
3.4.1 Prosedur Menentukan Putaran dan Torsi Dinamis	81
3.4.2 Prosedur Menentukan Putaran dan Torsi Dinamis	83
3.4.3 Flowchart Penelitian Menentukan Putaran dan Torsi Dinamis.....	86
3.4.4 <i>Flowchart</i> Penelitian Menentukan Torsi Statis	88
3.5 Perhitungan Uncertainty Pengukuran	90
3.6 Uji Uniformity Flow	93

3.7	Jadwal Penelitian.....	94
3.7	Jadwal Penelitian.....	95
4.1	Contoh perhitungan	97
4.1.1	Perhitungan Massa Jenis Udara	97
4.1.2	Perhitungan Viskositas Udara.....	98
4.1.3	Perhitungan Bilangan Reynolds.....	99
4.1.4	Perhitungan Tip Speed Ratio	100
4.1.5	Perhitungan Coefficient of Power	101
4.1.6	Perhitungan Coefficient of Moment	102
4.2	Turbin Angin Savonius Tanpa Silinder Pengganggu	102
4.2.1	<i>Coefficient of Power</i> Turbin Angin Savonius Tanpa Silinder Pengganggu (CoP0) sebagai Fungsi <i>Tip Speed Ratio</i> (TSR).....	102
4.2.2	<i>Coefficient of Moment</i> (Cm0) Turbin Angin Savonius tanpa Silinder Pengganggu sebagai Fungsi <i>Tip Speed Ratio</i> (TSR).....	105
4.2.3	<i>Coefficient of Static Torque</i> (Ct) Turbin Angin Savonius tanpa Silinder Pengganggu sebagai Fungsi Posisi Sudut <i>Blade</i> (θ).....	107
4.3	Analisis Performa Turbin Angin Savonius dengan Silinder Pengganggu.....	110
4.3.1	<i>Coefficient of Power</i> (CoP) Turbin Angin Savonius sebagai Fungsi <i>Tip Speed Ratio</i> tanpa dan dengan Silinder Pengganggu untuk Kecepatan Angin 3,8 m/s	110

4.3.2 *Coefficient of Power (CoP) Turbin Angin Savonius sebagai Fungsi Tip Speed Ratio tanpa dan dengan Silinder Pengganggu untuk Kecepatan Angin 4,4 m/s* 113

4.3.3 *Coefficient of Power (CoP) Turbin Angin Savonius sebagai Fungsi Tip Speed Ratio tanpa dan dengan Silinder Pengganggu untuk Kecepatan Angin 5 m/s* 115

4.3.4 *Coefficient of Power (CoP) Turbin Angin Savonius sebagai Fungsi Tip Speed Ratio tanpa dan dengan Silinder Pengganggu untuk Kecepatan Angin 6 m/s....*117

4.3.5 *Coefficient of Power (CoP) Turbin Angin Savonius sebagai Fungsi Tip Speed Ratio tanpa dan dengan Silinder Pengganggu untuk Kecepatan Angin 7 m/s* 119

4.3.6 *Coefficient of Power (CoP) Turbin Angin Savonius sebagai Fungsi Tip Speed Ratio tanpa dan dengan Silinder Pengganggu untuk Kecepatan Angin 8 m/s* 121

4.3.7 *Coefficient of Power (CoP) Turbin Angin Savonius sebagai Fungsi Tip Speed Ratio tanpa dan dengan Silinder Pengganggu untuk Kecepatan Angin 9 m/s* 124

4.3.8 *Coefficient of Moment (Cm) Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu sebagai Fungsi Tip Speed Ratio (TSR) pada Kecepatan Angin 3,8 m/s* 126

4.3.9 *Coefficient of Moment (Cm) Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu sebagai*

Fungsi *Tip Speed Ratio* (TSR) pada Kecepatan Angin 4,4 m/s 128

4.3.10 *Coefficient of Moment* (Cm) Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu sebagai Fungsi *Tip Speed Ratio* (TSR) pada Kecepatan Angin 5 m/s 130

4.3.11 *Coefficient of Moment* (Cm) Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu sebagai Fungsi *Tip Speed Ratio* (TSR) pada Kecepatan Angin 6 m/s 133

4.3.13 *Coefficient of Moment* (Cm) Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu sebagai Fungsi *Tip Speed Ratio* (TSR) pada Kecepatan Angin 8 m/s.....137

4.3.14 *Coefficient of Moment* (Cm) Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu sebagai Fungsi *Tip Speed Ratio* (TSR) pada Kecepatan Angin 9 m/s.....140

4.3.15 Perbandingan *Coefficient of Static Torque* Turbin Angin Savonius Terhadap Posisi Sudut *Blade* tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 3,8 m/s.....142

4.3.16 Perbandingan *Coefficient of Static Torque* Turbin Angin Savonius Terhadap Posisi Sudut *Blade* tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 4,4 m/s.....144

4.3.17 Perbandingan *Coefficient of Static Torque* Turbin Angin Savonius Terhadap Posisi Sudut *Blade* tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 5 m/s.....147

4.3.18 Perbandingan <i>Coefficient of Static Torque</i> Turbin Angin Savonius Terhadap Posisi Sudut <i>Blade</i> tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 6 m/s.....	149
4.3.19 Perbandingan <i>Coefficient of Static Torque</i> Turbin Angin Savonius Terhadap Posisi Sudut <i>Blade</i> tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada kecepatan angin 7 m/s	151
4.3.20 Perbandingan <i>Coefficient of Static Torque</i> Turbin Angin Savonius Terhadap Posisi Sudut <i>Blade</i> tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada kecepatan angin 8 m/s	154
4.3.21 Perbandingan <i>Coefficient of Static Torque</i> Turbin Angin Savonius Terhadap Posisi Sudut <i>Blade</i> tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada kecepatan angin 9 m/s	156
4.3.22 Perbandingan <i>Coefficient of Power (CoP)</i> maksimum Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu sebagai Fungsi Kecepatan Angin	159
4.4 Analisis Rasio <i>Coefficient of Power (CoP)</i> Turbin Angin Savonius dengan dan tanpa Dengan Silinder Pengganggu (CoP_{max}/CoP_0_{max}) sebagai Fungsi Kecepatan Angin	161
4.5 Analisis Rasio <i>Coefficient of Power (CoP)</i> Turbin Angin Savonius dengan dan tanpa Dengan Silinder Pengganggu (CoP_{max}/CoP_0_{max}) sebagai Fungsi $S/D = 1,2 - 2,6$.....	164
5.1 Kesimpulan	169
5.2 Saran.....	170
DAFTAR PUSTAKA	171

LAMPIRAN.....	171
A. Data Hasil Eksperimen Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 3,8 m/s; 4,4 m/s; 5 m/s; 6 m/s; 7 m/s; 8 m/s dan 9 m/s.	171
B. Perhitungan Uncertainty Pengukuran	229

Daftar Gambar

Gambar 2. 1 Komponen Turbin Angin (Sumber: National InstrumenCt Corporation, USA)	11
Gambar 2. 2 Turbin Angin Savonius dengan dua sudu (Sumber: Cengange Learning 2012)	12
Gambar 2. 3 Aliran fluida inviscid dan fluida viscous melalui sebuah silinder (Sumber: Fox and Mcdonald's Introduction to Fluid Mechanics)	15
Gambar 2. 4 Ilustrasi parameter turbin angin Savonius	17
Gambar 2. 5 Ilustrasi Brake Dynamometer	20
Gambar 2. 6 Grafik hubungan antara nilai Coefficient of Power terhadap Tip Speed Ratio untuk berbagai jenis turbin angin (Ambrosio, 2010)	22
Gambar 2. 7 Hubungan antara power coefficient dan kecepatan angin untuk turbin angin Savonius dengan sudu dua, tiga, dan empat. (Mahmoud, 2010)	23
Gambar 2. 8 Variasi daya mekanis dengan kecepatan angin untuk turbin dengan dua, tiga, dan empat sudu (Mahmoud, 2010)	24
Gambar 2. 9 Variasi daya mekanis dengan kecepatan angin pada aspect ratio 5 (Mahmoud, 2010).....	24
Gambar 2. 10 Hubungan antara koefisien torsi statis dan kecepatan angin untuk $\alpha = 0,5$ (Mahmoud, 2010).....	25
Gambar 2. 11 Variasi daya mekanis dengan kecepatan angin untuk turbin double stage (Mahmoud, 2010)	25
Gambar 2. 12 Hubungan antara koefisien Coefficient of Static Torque dan kecepatan angin untuk $\alpha = 0,5$ (Mahmoud, 2010) ...	26
Gambar 2. 13 Variasi Daya Spesifik dengan Kecepatan Angin untuk turbin single dan double stage	26
Gambar 2. 14 Variasi Koefisien Torsi Statis dengan Kecepatan Angin untuk Turbin single dan double stage (Mahmoud, 2010).	27

Gambar 2. 15 Variasi Daya Mekanis dengan Kecepatan Angin untuk overlap ratio yang berbeda (Mahmoud, 2010)	27
Gambar 2. 16 Variasi Power Coefficient dengan Kecepatan angin untuk aspect ratio yang bervariasi (Mahmoud, 2010)	28
Gambar 2. 17 Variasi Daya Mekanis dengan Kecepatan angin untuk turbin dengan dan tanpa dengan plat di ujungnya (Mahmoud, 2010)	28
Gambar 2. 18 Parameter geometris dan tampak dari turbin angin Savonius (Altan, 2008)	29
Gambar 2. 19 Parameter geometris susunan penghalang (Altan, 2008)	30
Gambar 2. 20 Pengaruh panjang penghalang terhadap Coefficient of Performance maksimum turbin (Altan, 2008)	31
Gambar 2. 21 Pengaruh sudut sudu penghalang (α dan β) terhadap kecepatan putar pada penghalang 1 (Altan, 2008)	32
Gambar 2. 22 Pengaruh tip speed ratio terhadap Coefficient of Power turbin angin Savonius dengan $\alpha = 45^\circ$ dan $\beta = 15^\circ$ (Altan, 2008)	33
Gambar 2. 23 Pengaruh kecepatan putar terhadap torsi turbin pada $\alpha = 45^\circ$ dan $\beta=15^\circ$ (Altan, 2008)	33
Gambar 2. 24 Turbin angin Savonius termodifikasi tanpa poros (Kamoji, 2008)	35
Gambar 2. 25 Variasi coefficient of torque dengan tip speed ratio untuk Savonius konvensional, Savonius termodifikasi tanpa poros, dan Savonius optimum termodifikasi dengan poros pada bilangan Reynolds sebesar 100.000, 120.000, dan 150.000 (Kamoji, 2008)	36
Gambar 2. 26 Variasi coefficient of power dengan tip speed ratio untuk Savonius konvensional, Savonius termodifikasi tanpa poros, dan Savonius optimum termodifikasi tanpa poros pada bilangan Reynolds sebesar 100.000, 120.000, dan 150.000 (Kamoji, 2008)	36

Gambar 2. 27 Skema susunan peralatan penelitian dan dimensinya (mm) (Fikri, 2019).	38
Gambar 2. 28 Grafik CoP turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu sebagai fungsi TSR pada masing – masing bilangan Reynolds 9,6 x 10 ⁴ , 13,4 x 10 ⁴ , 17,3 x 10 ⁴ (Fikri, 2019).....	39
Gambar 2. 29 Grafik Coefficient of Moment (C _m) turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu sebagai fungsi TSR (Fikri, 2019).....	40
Gambar 2. 30 Grafik Coefficient of Static Torque (C _t) turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu sebagai fungsi posisi sudut blade (θ) (Fikri, 2019).....	41
Gambar 2. 31 Grafik Coefficient of Power (CoP) turbin angin Savonius dalam fungsi Tip Speed Ratio (TSR) tanpa dan dengan silinder pengganggu pada bilangan Reynolds 9,6 x 10 ⁴ (Fikri, 2019).....	42
Gambar 2. 32 Grafik Coefficient of Power (CoP) turbin angin Savonius fungsi Tip Speed Ratio (TSR) tanpa dengan dan dengan silinder pengganggu pada bilangan Reynolds 13,4 x 10 ⁴ (Fikri, 2019).....	44
Gambar 2. 33 Grafik Coefficient of Power (CoP) turbin angin Savonius dalam fungsi Tip Speed Ratio (TSR) tanpa dengan dan dengan silinder pengganggu pada bilangan Reynolds 17,3 x 10 ⁴ (Fikri, 2019)	45
Gambar 2. 34 Grafik Coefficient of Moment (C _m) turbin angin Savonius fungsi Tip Speed Ratio (TSR) tanpa dengan dan dengan silinder pengganggu pada bilangan Reynolds 9,6 x 10 ⁴ (Fikri, 2019).....	46
Gambar 2. 35 Grafik Coefficient of Moment (C _m) turbin angin Savonius fungsi Tip Speed Ratio (TSR) tanpa dengan dan dengan silinder pengganggu pada bilangan Reynolds 13,4 x10 ⁴ (Fikri, 2019).....	47

Gambar 2. 36 Grafik Coefficient of Moment (C_m) turbin angin Savonius fungsi Tip Speed Ratio (TSR) tanpa dengan dan dengan silinder pengganggu pada bilangan Reynolds $17,3 \times 10^4$ (Fikri, 2019).....	49
Gambar 2. 37 Grafik perbandingan Coefficient of Static Torque (C_t) turbin angin Savonius dalam fungsi sudut (θ) tanpa dengan dan dengan silinder pengganggu pada bilangan Reynolds $9,6 \times 10^4$ (Fikri, 2019).....	50
Gambar 2. 38 Grafik perbandingan Coefficient of Static Torque (C_t) turbin angin Savonius dalam fungsi sudut (θ) tanpa dengan dan dengan silinder pengganggu pada bilangan Reynolds $13,4 \times 10^4$ (Fikri, 2019).....	51
Gambar 2. 39 Grafik perbandingan Coefficient of Static Torque (C_t) turbin angin Savonius fungsi sudut (θ) tanpa dengan dan dengan silinder pengganggu pada bilangan Reynolds $17,3 \times 10^4$ (Fikri, 2019)	52
Gambar 2. 40 Grafik perbandingan Coefficient of Power (CoP) Turbin Angin Savonius dengan dan tanpa dengan Silinder pengganggu (CoP/CoP0) Fungsi Jarak pada $S/D = 1,4 - 2,8$ (Fikri, 2019)	54
Gambar 2. 41 Kontur tekanan statis turbin konvensional dan turbin dengan silinder pengganggu I-65° pada TSR $\lambda=0,8$, $Re = 9,9 \times 10^4$, dan $S/D = 1,4$. a) 30° turbin konvensional, b) 30° turbin dengan silinder I-65°, c) 90° turbin konvensional, d) 90° turbin dengan silinder I-65°, e) 150° turbin konvensional, f) 150° turbin dengan silinder I-65° (Gunawan,2019).....	55
Gambar 2. 42 Kontur kecepatan turbin konvensional dan turbin dengan silinder pengganggu I-65° pada TSR $\lambda=0,8$, $Re = 9,9 \times 10^4$, dan $S/D = 1,4$. a) 30° turbin konvensional, b) 30° turbin dengan silinder I-65°, c) 90° turbin konvensional, d) 90° turbin dengan silinder I-65°, e) 150° turbin konvensional, f) 150° turbin dengan silinder I-65° (Gunawan,2019).....	56

Gambar 3. 1 Skema Penelitian Turbin Angin Savonius Tampak Atas dan Tampak Samping.....	61
Gambar 3. 2 Axial fan CKE SPV-18	70
Gambar 3. 3 Turbin Angin Savonius.....	71
Gambar 3. 4 Silinder pengganggu.....	72
Gambar 3. 5 Instalasi Peralatan Penelitian (a) tampak depan, (b) tampak samping (c) skema	73
Gambar 3. 6 Honeycomb.....	74
Gambar 3. 7 Tachometer OMEGA seri HHTI2	75
Gambar 3. 8 Anemometer	77
Gambar 3. 9 Skema susunan alat dengan brake dynamometer ...	77
Gambar 3. 10 Torque meter LUTRON model TQ-8800.....	79
Gambar 3. 11 Voltage regulator	79
Gambar 3. 12 Neraca Pegas	80
Gambar 3. 13 Massa pemberat	81
Gambar 3. 14 Titik pengujian Uniformity Flow	93
Gambar 3. 15 Grafik Distribusi Kecepatan Horizontal	94
Gambar 3. 16 Grafik Distribusi Kecepatan Vertikal	94

Gambar 4. 1 Grafik Coefficient of Power Turbin Angin Savonius tanpa Silinder Pengganggu sebagai fungsi Tip Speed Ratio pada masing – masing kecepatan angin 3,8 m/s; 4,4 m/s; 5 m/s; 6 m/s; 7 m/s; 8 m/s; 9 m/s	103
Gambar 4. 2 Grafik Coefficient of Moment Turbin Angin Savonius tanpa Silinder Pengganggu sebagai fungsi Tip Speed Ratio pada masing – masing kecepatan angin 3,8 m/s; 4,4 m/s; 5 m/s; 6 m/s; 7 m/s; 8 m/s; 9 m/s.....	105
Gambar 4. 3 Grafik Coefficient of Static Torque (Ct) Turbin Angin Savonius tanpa Silinder Pengganggu sebagai Fungsi Posisi Sudut blade (θ) pada masing – masing kecepatan angin 3,8 m/s; 4,4 m/s; 5 m/s; 6 m/s; 7 m/s; 8 m/s; 9 m/s.....	107

Gambar 4. 4 Grafik Coefficient of Power (CoP) Turbin Angin Savonius fungsi Tip Speed Ratio (TSR) tanpa dan dengan silinder pengganggu pada kecepatan angin 3,8 m/s.	111
Gambar 4. 5 Grafik Coefficient of Power (CoP) Turbin Angin Savonius fungsi Tip Speed Ratio (TSR) tanpa dan dengan silinder pengganggu pada kecepatan angin 4,4 m/s.	113
Gambar 4. 6 Grafik Coefficient of Power (CoP) Turbin Angin Savonius fungsi Tip Speed Ratio (TSR) tanpa dan dengan silinder pengganggu pada kecepatan angin 5 m/s.	115
Gambar 4. 7 Grafik Coefficient of Power (CoP) Turbin Angin Savonius fungsi Tip Speed Ratio (TSR) tanpa dan dengan silinder pengganggu pada kecepatan angin 6 m/s.	117
Gambar 4. 8 Grafik Coefficient of Power (CoP) Turbin Angin Savonius fungsi Tip Speed Ratio (TSR) tanpa dan dengan silinder pengganggu pada kecepatan angin 7 m/s.	119
Gambar 4. 9 Grafik Coefficient of Power (CoP) Turbin Angin Savonius fungsi Tip Speed Ratio (TSR) tanpa dan dengan silinder pengganggu pada kecepatan angin 8 m/s.	122
Gambar 4. 10 Grafik Coefficient of Power (CoP) Turbin Angin Savonius fungsi Tip Speed Ratio (TSR) tanpa dan dengan silinder pengganggu pada kecepatan angin 9 m/s.	124
Gambar 4. 11 Grafik Coefficient of Moment (Cm) Turbin Angin Savonius fungsi Tip Speed Ratio (TSR) tanpa dan dengan silinder pengganggu pada kecepatan angin 3,8 m/s.	126
Gambar 4. 12 Grafik Coefficient of Moment (Cm) Turbin Angin Savonius fungsi Tip Speed Ratio (TSR) tanpa dan dengan silinder pengganggu pada kecepatan angin 4,4 m/s.	128
Gambar 4. 13 Grafik Coefficient of Moment (Cm) Turbin Angin Savonius fungsi Tip Speed Ratio (TSR) tanpa dan dengan silinder pengganggu pada kecepatan angin 5 m/s.	131

Gambar 4. 14 Grafik Coefficient of Moment (C_m) Turbin Angin Savonius fungsi Tip Speed Ratio (TSR) tanpa dan dengan silinder pengganggu pada kecepatan angin 6 m/s	133
Gambar 4. 15 Grafik Coefficient of Moment (C_m) Turbin Angin Savonius fungsi Tip Speed Ratio (TSR) tanpa dan dengan silinder pengganggu pada kecepatan angin 7 m/s	135
Gambar 4. 16 Grafik Coefficient of Moment (C_m) Turbin Angin Savonius fungsi Tip Speed Ratio (TSR) tanpa dan dengan silinder pengganggu pada kecepatan angin 8 m/s	138
Gambar 4. 17 Grafik Coefficient of Moment (C_m) Turbin Angin Savonius fungsi Tip Speed Ratio (TSR) tanpa dan dengan silinder pengganggu pada kecepatan angin 9 m/s	140
Gambar 4. 18 Grafik Perbandingan Coefficient of Static Torque Turbin Angin Savonius terhadap Posisi Sudut Blade tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 3,8 m/s ...	142
Gambar 4. 19 Grafik Perbandingan Coefficient of Static Torque Turbin Angin Savonius terhadap Posisi Sudut Blade tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 4,4 m/s ...	145
Gambar 4. 20 Grafik Perbandingan Coefficient of Static Torque Turbin Angin Savonius terhadap Posisi Sudut Blade tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 5 m/s	147
Gambar 4. 21 Grafik Perbandinga Coefficient of Static Torque Turbin Angin Savonius terhadap Posisi Sudut Blade tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 6 m/s	149
Gambar 4. 22 Grafik Perbandingan Coefficient of Static Torque Turbin Angin Savonius terhadap Posisi Sudut Blade tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 7 m/s	152
Gambar 4. 23 Grafik Perbandingan Coefficient of Static Torque Turbin Angin Savonius Terhadap Posisi Sudut Blade tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 8 m/s	154

Gambar 4. 24 Grafik Perbandingan Coefficient of Static Torque Turbin Angin Savonius terhadap Posisi Sudut Blade tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 9 m/s157

Gambar 4. 25 Grafik Perbandingan Coefficient of Power (CoP) maksimum turbin angin Savonius tanpa dan dengan silinder pengganggu sebagai fungsi kecepatan angin.....159

Gambar 4. 26 Grafik Rasio Coefficient of Power (CoP) Turbin Angin Savonius dengan dan tanpa dengan Silinder Pengganggu ($CoP_{max}/CoP0_{max}$) sebagai Fungsi $S/D = 1,2 - 2,6$ 165

Daftar Tabel

Tabel 2. 1 Konfigurasi turbin angin Savonius termodifikasi tanpa poros	35
Tabel 2. 2 Perbandingan coefficient of power maksimal dan tip speed ratio serta coefficient of torque untuk rotor Savonius konvensional. Rotor Savonius optimum termodifikasi dengan poros, dan rotor Savonius optimum termodifikasi tanpa poros...	37
Tabel 3. 1 Parameter yang tetap dan Parameter yang divariasikan	62
Tabel 3. 2 Spesifikasi Axial fan CKE SPV-18.....	69
Tabel 3. 3 Spesifikasi Tachometer OMEGA seri HHTI2	75
Tabel 3. 4 Spesifikasi OMEGA HHF141 Digital Anemometer..	76
Tabel 3. 5 Spesifikasi Torque meter LUTRON model TQ-8800	78
Tabel 3. 6 Spesifikasi Voltage Regulator Model TDGC 2J-3.....	80
Tabel 3. 7 Spesifikasi neraca pegas.....	81
Tabel 3. 8 Hasil Perhitungan uncertainty pada Titik Maksimum CoP turbin tanpa silinder pengganggu di kecepatan angin 5 m/s	92
Tabel 4. 1 Kecepatan angin dan Bilangan Reynolds	100
Tabel 4. 2 Perbandingan nilai CoP dan TSR Turbin tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 3,8 m/s ...	112
Tabel 4. 3 Perbandingan nilai CoP dan TSR Turbin tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 4,4 m/s ...	114
Tabel 4. 4 Perbandingan nilai CoP dan TSR Turbin tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 5 m/s	116
Tabel 4. 5 Perbandingan nilai CoP dan TSR Turbin tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 6 m/s	118
Tabel 4. 6 Perbandingan nilai CoP dan TSR Turbin tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 7 m/s	120

Tabel 4. 7 Perbandingan nilai CoP dan TSR Turbin tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin, 8 m/s	123
Tabel 4. 8 Perbandingan nilai CoP dan TSR Turbin tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 9 m/s	125
Tabel 4. 9 Perbandingan nilai Cm dan TSR Turbin tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 3,8 m/s ...	127
Tabel 4. 10 Perbandingan nilai Cm dan TSR Turbin tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 4,4 m/s ...	129
Tabel 4. 11 Perbandingan nilai Cm dan TSR Turbin tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 5 m/s	132
Tabel 4. 12 Perbandingan nilai Cm dan TSR Turbin tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 6 m/s	134
Tabel 4. 13 Perbandingan nilai Cm dan TSR Turbin tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 7 m/s	136
Tabel 4. 14 Perbandingan nilai Cm dan TSR Turbin tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 8 m/s	139
Tabel 4. 15 Perbandingan nilai Cm dan TSR Turbin tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 9 m/s	141
Tabel 4. 16 Tabel rasio Coefficient of Power (CoP) turbin angin Savonius dengan dan tanpa dengan silinder pengganggu ($CoP_{max}/CoP0_{max}$) sebagai fungsi kecepatan angin pada penelitian yang dilakukan oleh Lazuardi Rahim Yamin dan penelitian yang sedang dilakukan.....	162

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permasalahan pemanasan global masih berlangsung hingga tahun 2019. Tercatat tahun 2018 merupakan tahun terpanas keempat sepanjang sejarah. Salah satu penyebab perubahan iklim tersebut adalah emisi karbon dioksida yang berhubungan dengan energi meningkat 1.3% setiap tahunnya, selama lebih dari lima tahun terakhir. Berdasarkan laporan *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) pada tahun 2018 tentang pemanasan global, ketersediaan karbon dioksida dunia yang berhubungan dengan energi akan habis selambat-lambatnya pada 2030. Untuk mengembalikan dunia ke jalan yang sudah ditetapkan pada Persetujuan Paris (Persetujuan Perserikatan Bangsa-Bangsa tentang perubahan iklim), emisi tahunan dunia harus berkurang sebesar 3.5% setiap tahunnya dari sekarang hingga tahun 2050 dan seterusnya. Energi terbarukan dan elektrifikasi mampu memberikan 75% reduksi emisi tersebut, sehingga dapat dikatakan bahwa energi terbarukan dapat menjadi solusi kebutuhan energi dunia.

Indonesia memiliki kapasitas energi angin sebesar 9.29 GW, menurut prediksi kementerian energi dan sumber daya mineral, namun kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Bayu yang ada di Indonesia masih sangat rendah, yaitu 3,1 MW. sehingga Indonesia masih memiliki banyak potensi energi angin. Kecepatan angin di Indonesia berkisar antara 4 m/s hingga 6 m/s, berdasarkan data Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), oleh sebab itu dibutuhkan turbin angin yang dapat beroperasi dengan kecepatan angin sebesar itu.

Turbin angin Savonius, turbin yang termasuk kategori *Vertical Axis Wind Turbine*, bergerak tidak bergantung pada arah angin serta dapat bergerak pada kecepatan angin rendah. Karakteristik ini cocok dengan kondisi iklim di Indonesia. *Coefficient of Power* (C_{op}) turbin angin Savonius relatif rendah ($C_{op} \approx 15\%$) dibandingkan HAWT ($C_{op} \approx 45\%$). Walau demikian, turbin angin Savonius dapat digunakan sebagai penggerak turbin angin tipe lain yang memiliki torsi awal penggerak turbin yang rendah.

M.A. Kamoji, et al (2008) melakukan penelitian untuk meningkatkan *Coefficient of power* turbin angin Savonius konvensional dan untuk mendapatkan koefisien uniform dari *Coefficient of Static Torque*. Untuk mencapai tujuan tersebut, turbin dipelajari dengan dan tanpa dengan poros tengah di antara ujung turbin. Parameter yang dipelajari pada penelitian ini adalah *overlap ratio* sebesar 0; 0,1; dan 0,16; *blade arc angle* sebesar 110° ; 124° ; 135° ; 150° ; *aspect ratio* sebesar 0,6; 0,7; 0,77; 1; dan *Reynolds number* sebesar 120.000 dan 150.000. Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah turbin angin Savonius tanpa poros tengah dengan *overlap ratio* 0, *aspect ratio* 0,7, *blade arc angle* 124° , *blade shape factor* 0,2, dan *end plate parameter* 1,1 memiliki *coefficient of power* yang tinggi yaitu sebesar 0,21 pada *tip speed ratio* 0,69 untuk *Reynolds number* 150.000. Selain itu, turbin angin Savonius yang dimodifikasi tanpa poros tengah memiliki *coefficient of power* tertinggi dibandingkan turbin angin Savonius konvensional dan turbin angin Savonius yang dimodifikasi dengan adanya poros tengah. Ketiga jenis turbin memiliki koefisien statis torsi maksimal pada sudut turbin sebesar 30° dan koefisien statis torsi minimal pada sudut turbin sebesar 165° .

N.H. Mahmoud, et al (2010) melakukan penelitian menggunakan turbin angin Savonius dengan geometri yang

berbeda untuk menentukan parameter operasional yang paling efektif. Parameter yang dipelajari pada penelitian ini adalah banyak sudu yaitu 2; 3; 4; banyak *stages* pada turbin yaitu *single stage* dan *double stages*, *overlap ratio* sebesar 0 hingga 0,35, *aspect ratio* sebesar 0,5 hingga 5, dan keberadaan dari *end plates*. Penelitian ini memberikan hasil yaitu turbin dengan sudu sebanyak dua lebih efisien dibandingkan turbin dengan sudu tiga dan sudu empat. Turbin dengan *end plates* memiliki efisiensi lebih tinggi dibanding turbin tanpa *end plates*. Performa turbin *double stages* lebih tinggi dibanding turbin *single stage*. Turbin tanpa *overlap ratios* beroperasi lebih baik daripada turbin dengan *overlap ratio*. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa *power coefficient* meningkat seiring dengan meningkatnya *aspect ratio*.

Burçin Deda Altan, et al (2008) melakukan penelitian untuk meningkatkan performa turbin angin Savonius dengan menggunakan penghalang. Penghalang diletakkan di depan turbin untuk mencegah torsi negatif pada arah berlawanan dari rotasi turbin. Parameter yang dipelajari pada penelitian ini adalah panjang dari penghalang (l_1 dan l_2) dan sudut penghalang (α dan β). Parameter – parameter tersebut dipelajari pengaruhnya terhadap torsi, daya, dan *power coefficient* turbin. Pada penelitian ini digunakan tiga jenis konfigurasi penghalang, yaitu penghalang 1 dengan l_1 sepanjang 45 cm dan l_2 sepanjang 52 cm, penghalang 2 dengan l_1 sepanjang 34 cm dan l_2 sepanjang 39 cm, dan penghalang 3 dengan l_1 sepanjang 22 cm dan l_2 sepanjang 26 cm. Variasi sudut penghalang α adalah 30° hingga 60° dengan kenaikan sebesar 5° dan variasi sudut penghalang β adalah 0° hingga 30° . Penelitian ini memberikan hasil yaitu sudut optimum penghalang adalah $\alpha = 45^\circ$ dan $\beta = 15^\circ$. *Power coefficient* tertinggi didapatkan pada konfigurasi penghalang 1, yaitu penghalang dengan l_1 sepanjang 45 cm

dan l_2 sepanjang 52 cm. Walaupun penghalang 2 dan 3 tidak menghasilkan *power coefficient* C_t sebesar penghalang 1, penghalang – penghalang tersebut memberikan *power coefficient* C_t lebih besar dibandingkan turbin angin Savonius tanpa penghalang ($C_p = 16\%$).

Fikri Amrul Alimin Mudjahidin (2019), melakukan penelitian untuk meningkatkan kinerja turbin angin Savonius dengan penempatan silinder sirkular di depan *returning blade* turbin. Penelitian dilakukan menggunakan turbin angin Savonius dengan dua sudu dengan diameter sudu turbin (D) sebesar 165,2 mm, tinggi (H) sebesar 213 mm, diameter poros (b) sebesar 19 mm, dan diameter *end plate* (D_o) sebesar 321 mm. Penelitian ini menggunakan pengganggu berbentuk silinder dengan diameter (d) sebesar 82,6 mm dan tinggi (t) sebesar 500 mm. Pengganggu tersebut diletakkan di depan *returning blade* untuk mengurangi gaya *drag* pada sisi *returning blade* turbin angin Savonius. Rasio diameter pengganggu terhadap diameter sudu turbin d/D yang digunakan pada penelitian ini adalah sebesar 0,5 dan variasi jarak dari titik pusat turbin sampai titik pusat silinder pengganggu terhadap diameter turbin S/D sebesar 2,0; 2,2; 2,4; 2,6; 2,8 dengan variasi bilangan Reynolds sebesar 96.000, 134.000, dan 173.000. Penelitian ini memberikan hasil yaitu turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu berukuran d/D sebesar 0,5 di depan *returning blade* pada posisi S/D sebesar 2,0 pada bilangan Reynolds $9,6 \times 10^4$ memiliki performa lebih tinggi dibanding turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu. *Coefficient of Power* (CoP) meningkat dari 13,23 % menjadi 0,777 dan *Coefficient of Moment* (Cm) meningkat dari 33,33% menjadi 0,164. Penempatan silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin angin Savonius pada posisi S/D sebesar 2,0 pada bilangan Reynolds $9,6 \times 10^4$, $13,4 \times 10^4$, dan $17,3 \times 10^4$

mampu meningkatkan kemampuan *self starting* turbin angin Savonius di semua posisi angular sudu turbin, dibuktikan dengan nilai *Coefficient of Static Torque* pada ketiga bilangan Reynolds tersebut meningkat dan tidak terdapat *Coefficient of Static Torque* yang bernilai negatif.

Gunawan Sakti, et al. (2019) melakukan penelitian eksperimen dan numerik untuk meningkatkan performa turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu di depan *Returning Blade* menggunakan *software ANSYS-fluent 19.1*. Penelitian dilakukan menggunakan dan tanpa menggunakan silinder pengganggu I-65° pada bilangan Reynolds sebesar $9,9 \times 10^4$, rasio diameter silinder pengganggu dengan diameter sudu turbin (d/D) sebesar 0,5, peletakkan turbin pada sudut 30°, 90°, 150°, dan peletakkan silinder pengganggu pada jarak 1,4D. Penelitian ini memberikan hasil yaitu peletakkan silinder pengganggu I-65° di depan turbin angin Savonius mampu meningkatkan *power coefficient* turbin dan kemampuan *self starting* turbin. Kemampuan *self starting* turbin yang dipasang silinder pengganggu memiliki nilai terendah pada sudut 150°. Hasil ini dibuktikan dengan visualisasi kontur tekanan dan kontur kecepatan, di mana kontur tekanan mendeskripsikan reduksi *pressure drag* dan kontur kecepatan mendeskripsikan penyempitan daerah *wake* akibat dari separasi aliran yang tertunda.

Penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya memberikan kesimpulan bahwa turbin angin Savonius yang dimodifikasi tanpa poros tengah memiliki *coefficient of power* tertinggi dibandingkan turbin angin Savonius konvensional dan turbin angin Savonius yang dimodifikasi dengan adanya poros tengah. Turbin angin Savonius dengan adanya silinder pengganggu memiliki performa lebih tinggi dan kemampuan *self starting* lebih tinggi dibandingkan turbin angin Savonius tanpa adanya silinder

pengganggu. Sudut optimum penghalang turbin angin Savonius adalah $\alpha = 45^\circ$ dan $\beta = 15^\circ$ dan *Power coefficient* tertinggi didapatkan pada penghalang dengan l_1 sepanjang 45 cm dan l_2 sepanjang 52 cm. Turbin dengan sudu sebanyak dua lebih efisien dibandingkan turbin dengan sudu tiga dan sudu empat dan Turbin dengan *end plates* memiliki efisiensi lebih tinggi dibanding turbin tanpa *end plates*. Performa turbin *double stages* lebih tinggi dibanding turbin *single stage*. Turbin tanpa *overlap ratios* beroperasi lebih baik daripada turbin dengan *overlap ratio* dan *power coefficient* meningkat seiring dengan meningkatnya *aspect ratio*.

Masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan lagi performa dari turbin Savonius. Pada penelitian ini digunakan penghalang di depan *returning blade* turbin angin Savonius untuk meningkatkan performa turbin. Variabel yang membedakan penelitian ini dengan penelitian – penelitian sebelumnya adalah kecepatan angin. Variabel kecepatan angin digunakan untuk mendapatkan nilai optimum *tip speed ratio* yang menghasilkan *Coefficient of Power* terbesar.

1.2 Rumusan Masalah

Pada penelitian ini digunakan Turbin angin Savonius dengan dua sudu yang memiliki bentuk setengah lingkaran. Dua sudu pada Turbin angin Savonius disebut dengan *returning blade* dan *advancing blade*. *Advancing blade* mempunyai gaya drag lebih besar daripada *returning blade*, sehingga *advancing blade* memiliki arah putaran yang searah dengan aliran angin dan *returning blade* memiliki arah putaran yang berlawanan arah dengan aliran angin. Selisih gaya drag ini menghasilkan torsi yang jika dikalikan dengan kecepatan angular turbin akan

mehasilkan daya turbin. Untuk memperbesar selisih gaya drag tersebut, maka dalam penelitian ini dipasang silinder pengganggu di depan *returning blade*, sehingga gaya drag dari *returnin blade* dapat dikurangi.

Variasi yang digunakan pada penelitian ini adalah kecepatan angin. Hipotesa awal pada penelitian ini adalah:

1. Silinder pengganggu diletakkan di depan *returning blade* diduga akan menurunkan tekanan di depan *returning blade* dan tekanan di belakang *returning blade* akan naik. Tekanan di depan *returning blade* yang mengecil dan tekanan di belakang *returning blade* yang meningkat, membuat gaya drag yang dihasilkan oleh *returning blade* mengecil, sehingga torsi yang dihasilkan mengecil pula. Torsi yang dihasilkan *returning blade* mengecil menyebabkan selisih torsi antara kedua sudu semakin besar, sehingga daya yang dihasilkan oleh turbin angin Savonius semakin besar.
2. Silinder pengganggu diletakkan di depan *returning blade* diduga menyebabkan *shear layer* terlepas dari silinder pengganggu dan jatuh pada permukaan *returning blade*. Hal tersebut mengganggu *boundary layer* pada *returning blade* sehingga *boundary layer* aliran pada *returning blade* semakin cepat menjadi aliran turbulen. Akibatnya, separasi tertunda sehingga *wake* yang terbentuk lebih kecil. *Wake* mengecil menyebabkan gaya *drag* menurun sehingga selisih torsi antara kedua sudu semakin besar dan daya yang dihasilkan oleh turbin angin Savonius semakin besar.
3. Variasi kecepatan angin sebesar 3,8 m/s; 4,4 m/s; 5 m/s; 6 m/s; 7 m/s; 8 m/s; 9 m/s. Meningkatnya

kecepatan angin akan meningkatkan gaya *drag* angin dan kecepatan rotasi poros turbin angin Savonius, sehingga nilai *Coefficient of Power* turbin akan meningkat hingga titik maksimum. Nilai *Coefficient of Power* turbin akan menurun setelah mencapai titik maksimum karena adanya kerugian yang terjadi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kecepatan angin optimum untuk mendapatkan nilai *Coefficient of Power* optimum turbin angin Savonius.

Untuk membuktikan hipotesa tersebut dilakukan penelitian dengan perbandingan diameter silinder pengganggu dengan diameter turbin angin Savonius (d/D) sebesar 0,5. Rasio antara jarak pusat turbin angin Savonius dengan pusat silinder pengganggu terhadap sudu turbin angin Savonius (S/D) sebesar 2,2 dan variasi kecepatan angin sebesar 3,8 m/s; 4,4 m/s; 5 m/s; 6 m/s; 7 m/s; 8 m/s; 9 m/s.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini menggunakan batasan masalah sebagai berikut:

1. Aliran eksternal
2. Aliran yang mengalir adalah *steady*, *incompressible*, dan *uniform*
3. Rasio diameter silinder pengganggu dengan diameter sudu turbin angin Savonius (d/D) sebesar 0,5
4. *Aspect ratio* (H/L) = 1
5. Rasio antara jarak pusat turbin angin Savonius dengan pusat silinder pengganggu terhadap diameter sudu turbin angin Savonius (S/D) sebesar 2,2

6. Variasi kecepatan angin sebesar 3,8 m/s; 4,4 m/s; 5 m/s; 6 m/s; 7 m/s; 8 m/s; 9 m/s.

1.4 Tujuan

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh pemberian silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin angin Savonius terhadap performa dari turbin angin Savonius. Rasio diameter silinder pengganggu dengan diameter sudu turbin angin Savonius (d/D) sebesar 0,5. Rasio antara jarak pusat turbin angin Savonius dengan pusat silinder pengganggu terhadap diameter sudu turbin angin Savonius (S/D) sebesar 2,2; dan variasi kecepatan angin sebesar 3,8 m/s; 4,4 m/s; 5 m/s; 6 m/s; 7 m/s; 8 m/s; 9 m/s. Performa turbin dapat diketahui dengan :

1. Mengukur *Coefficient of Static Torque* dan torsi dinamis turbin Savonius
2. Menghitung *coefficient of power* (COP) turbin Savonius
3. Menghitung *coefficient of moment* (C_M) turbin Savonius

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin Savonius terhadap *Coefficient of Static Torque*, torsi dinamis, *coefficient of power* (COP) dan *coefficient of moment* (C_M) turbin Savonius.

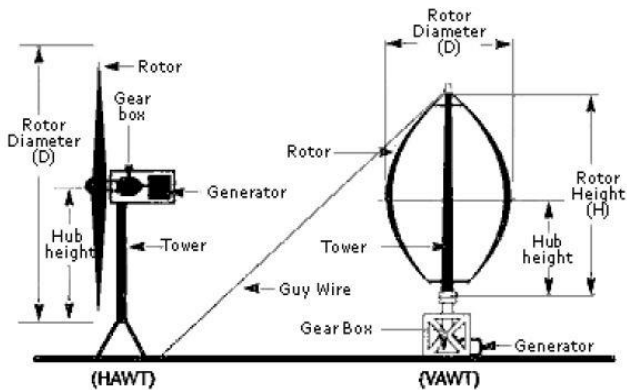
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

DASAR TEORI

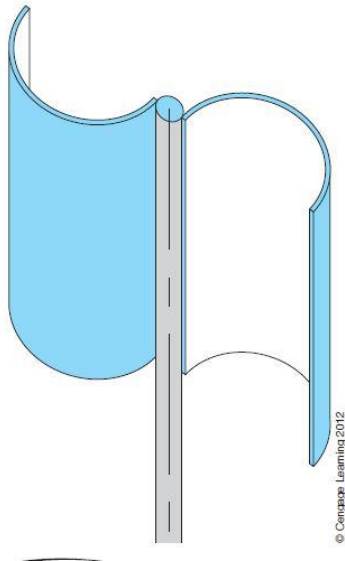
2.1 Turbin Angin

Turbin angin utamanya dibagi menjadi menjadi dua tipe, yaitu bersumbu horisontal dan bersumbu vertikal. *Horizontal axis wind turbine* (HAWT) dan *vertical axis wind turbine* (VAWT) terklasifikasi oleh sumbu putar dari poros turbin. Pada HAWT rotor dan generator listrik berada pada puncak dari menara turbin. Pada VAWT rotor, generator listrik, dan *gearbox* berada pada dasar dari menara turbin. Terdapat juga turbin angin Darrieus yang bentuknya seperti pengacak telur. Turbin jenis ini memiliki efisiensi yang sangat baik, namun memiliki *reliability* yang kurang baik karena torsi yang dialami oleh turbin tersebut sangatlah besar.



Gambar 2. 1 Komponen Turbin Angin (Sumber: National Instrument Corporation, USA)

2.2 Turbin Angin Savonius



Gambar 2. 2 Turbin Angin Savonius dengan dua sudu
(Sumber: Cengage Learning 2012)

Turbin angin Savonius adalah turbin tipe *drag*, yang namanya diambil dari penemunya, Sigurd J. Savonius. Konstruksinya relatif sederhana dibandingkan turbin angin jenis lainnya. Pada bentuknya yang paling sederhana, turbin angin Savonius terdiri dari dua setengah silinder yang tersambung ke poros dan membentuk huruf “S” seperti pada gambar 2.2. Pada setiap momen waktu satu sudu menangkap datangnya angin dan sudu lainnya bergerak melawan arah datangnya angin. Torsi total untuk merotasi turbin adalah torsi dari sudu yang menangkap datangnya angin dikurangi dengan torsi resistif yang didapat oleh sudu lainnya. Setengah silinder dapat ditambahkan lagi pada poros untuk meningkatkan kapasitas angin yang ditangkap. Hal ini sama saja dengan

menambah panjang dari bagian silindrikal, apabila bagian tersebut disusun pada satu garis lurus. Selain itu dapat juga dipasang satu pasang setengah silinder lagi pada 90° dari pasangan setengah silinder yang pertama. Hal ini menambah keseragaman torsi rotasional pada poros.

Turbin angin Savonius memiliki sekitar setengah dari kapabilitas menangkap kekuatan angin turbin lainnya. Oleh sebab itu, *Coefficient of Power* pada situasi terbaiknya adalah setengah besarnya dari yang dapat dicapai oleh, semisal, turbine propeler. Konstruksi dari turbin angin Savonius meliputi massa yang besar sehingga bersifat sangat tebal. Di samping keunggulan turbin angin Savonius yang telah dituliskan sebelumnya, turbin ini juga dapat menangkap angin berkecepatan rendah dan memiliki torsi pemulai yang baik.

2.3 Gaya Drag

Gaya *drag* adalah penjumlahan dari semua gaya yang menahan pergerakan suatu benda yang dialiri fluida. Variasi dari gaya *drag* sebagai fungsi dari kecepatan angin membentuk grafik berbentuk parabola. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin besar kecepatan angin maka semakin besar gaya *drag* yang terjadi, begitu pula sebaliknya. Namun, terdapat juga parameter yang nilainya akan semakin kecil apabila kecepatan angin diperbesar. Gaya *drag* diklasifikasikan menjadi beberapa tipe, yaitu *friction drag* dan *pressure drag*. *Friction drag* adalah gaya *drag* yang terjadi akibat adanya tegangan geser viskos pada permukaan yang dialiri fluida. *Pressure drag* adalah gaya *drag* yang terjadi akibat efek terintegrasi dari tekanan statis yang bekerja dengan arah normal dari permukaan benda yang dialiri fluida. Gaya *drag* ini secara umum dependen terhadap *Reynolds number*.

Gaya drag dapat didefinisikan pada rumus sebagai berikut,

$$F_D = \frac{1}{2} \rho V^2 C_D A \quad (2.1)$$

di mana:

F_D = Gaya *drag* (N)

ρ = Massa jenis fluida yang mengalir (Kg/m³)

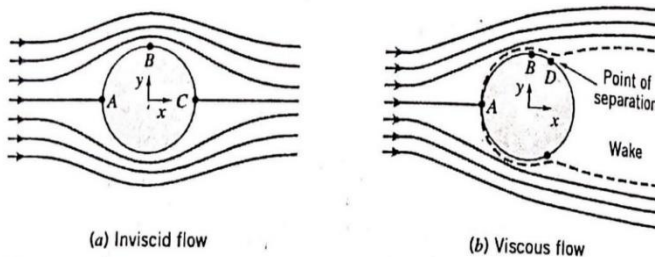
V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

A = Luasan benda yang terkena aliran fluida (m²)

C_D = Koefisien *drag*

2.4 Aliran Melintasi Sebuah Silinder

Aliran yang melintasi sebuah silinder dapat berupa aliran *inviscid* dan aliran *viscous*. Pada aliran *inviscid* melintasi sebuah silinder, *streamline* terbentuk simetris di bagian depan dan belakang silinder. Aliran massa di antara setiap *streamline* konstan, sehingga ketika terjadi bukaan pada *streamline*, kecepatan berkurang dan sebaliknya. Pada gambar 2.3 dapat dilihat kecepatan di titik A dan C relatif rendah, dan kecepatan pada titik B tinggi. Nyatanya, angin terhenti pada poin A dan C; titik tersebut disebut dengan titik stagnasi. Pada aliran tersebut, berdasarkan hukum *bernoulli*, tekanan menjadi tinggi ketika kecepatan aliran fluida rendah, begitu pula sebaliknya. Oleh sebab itu titik A dan C secara relatif memiliki tekanan yang sama dan bernilai besar; titik B memiliki tekanan yang rendah. Distribusi tekanan pada silinder adalah simetris dari bagian depan hingga belakang dan tidak ada gaya *drag* yang terjadi akibat tekanan. Gaya *drag* tidak terjadi juga karena aliran tersebut adalah aliran *inviscid*, sehingga tidak ada gaya gesek yang menyebabkan gaya *drag*.



Gambar 2. 3 Aliran fluida inviscid dan fluida viscous melalui sebuah silinder
(Sumber: Fox and Mcdonald's Introduction to Fluid Mechanics)

Pada aliran *viscous* melintasi sebuah silinder, terdapat gaya gesek pada *boundary layer*. Hal ini menyebabkan terjadinya gaya *drag*. Konsekuensi lainnya dari *boundary layer* yang memiliki gaya gesek adalah akan terbentuknya *wake*, seperti pada gambar 2.3, dari titik D hingga setelahnya. Titik D adalah titik separasi, di mana partikel-partikel fluida terdorong dari silinder dan menyebabkan terbentuknya *wake*. Ketika fluida bergerak dari titik B menuju titik C, fluida bergerak dari titik bertekanan rendah menuju titik bertekanan tinggi. Hal ini menyebabkan terjadinya *adverse pressure gradient* yang menyebabkan partikel fluida semakin melambat ketika bergerak menuju bagian belakang silinder. Pada akhirnya fluida akan berhenti pergerakannya dan terdorong keluar dari permukaan silinder, sehingga terbentuk *wake*. Daerah *wake* memiliki tekanan yang relatif rendah dan daerah depan silinder masih memiliki tekanan yang relatif tinggi. Hal ini menyebabkan silinder memiliki gaya *drag*.

Pada *Reynolds number* sangat rendah, $Re \leq 1$, tidak ada separasi aliran dari silinder; *wake* yang terbentuk adalah laminar dan *drag* yang terjadi adalah *friction drag*. Selama *Reynolds number* terus naik, koefisien *drag* terus menurun

hingga *Reynolds number* sekitar 1000. *Wake* turbulen mulai terbentuk di bagian belakang silinder dan titik separasi berpindah dari bagian belakang silinder menuju bagian depan silinder; *wake* ini memiliki tekanan yang relatif rendah sehingga menyebabkan *pressure drag* yang besar. Untuk *Reynolds number* lebih besar dari 3×10^5 , transisi terbentuk dan *boundary layer* pada silinder menjadi turbulen. Titik separasi berpindah menuju bagian belakang silinder dan ukuran dari *wake* mengecil. Gaya tekan total pada silinder berkurang sehingga koefisien *drag* berkurang secara signifikan. *Boundary layer* turbulen mampu lebih baik menahan *adverse pressure gradient* sehingga mampu menunda terjadinya separasi dan mengurangi gaya *drag*.

2.5 Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds adalah rasio dari gaya inersia dengan gaya *viscous*. Bilangan ini adalah bilangan tanpa dimensi yang digunakan untuk mengkategorikan sistem fluida di mana viskositas berperan penting dalam mengontrol kecepatan atau pola aliran fluida. Secara matematis bilangan Reynolds didefinisikan dengan

$$Re = \frac{\rho VL}{\mu} \quad (2.2)$$

di mana:

Re = Bilangan *Reynolds*

ρ = Densitas fluida (Kg/m^3)

V = Kecepatan fluida (m/s)

L = Panjang karakteristik (m)

μ = Viskositas dinamik (Ns/m)

Bilangan *Reynolds* digunakan untuk menentukan apakah fluida beraliran laminer atau turbulen. Bilangan *Reynolds* kurang dari

atau sama dengan 2100 mengindikasikan aliran laminar dan bilangan *Reynolds* lebih besar dari 2100 mengindikasikan aliran turbulen.

Pada penelitian ini panjang karakteristik didefinisikan sebagai berikut

$$L = 2D - b - 2t \quad (2.3)$$

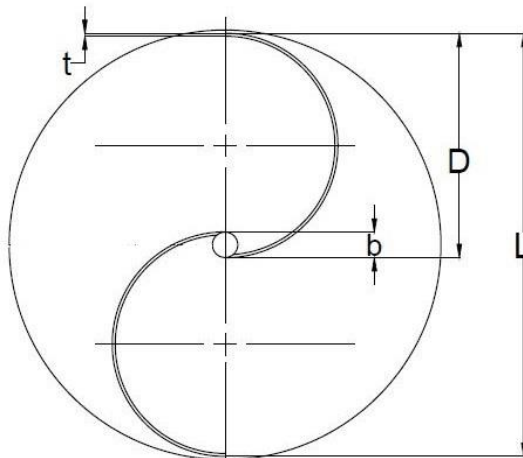
di mana:

L = Panjang karakteristik (m)

D = Diameter sudu turbin angin Savonius (m)

b = Diameter poros turbin (m)

t = Tebal sudu turbin angin Savonius (m)



Gambar 2. 4 Ilustrasi parameter turbin angin Savonius

2.6 Coefficient of Static Torque

Torsi adalah ukuran dari gaya yang dapat menyebabkan sebuah objek berotasi pada sebuah suatu sumbu.

Torsi juga menyebabkan objek mendapatkan akselerasi angular. *Coefficient of Static Torque* adalah torsi yang tidak menghasilkan akselerasi angular. Rotasi pada turbin angin Savonius disebabkan oleh torsi yang bergantung pada gaya *drag* dan sudu turbin. Hubungan antara torsi dengan gaya *drag* dan sudu turbin dapat didefinisikan sebagai berikut,

$$T_S = F_D R \quad (2.4)$$

di mana:

T_S = Torsi yang dihasilkan putaran poros (N.m)

F_D = Gaya *drag* yang terjadi pada turbin (N)

R = Jari – jari turbin (m) = $\frac{L}{2}$

Dengan mensubstitusikan persamaan 2.1 pada persamaan 2.4 didapatkan persamaan sebagai berikut,

$$T_S = \frac{1}{2} C_D \rho V^2 A R \quad (2.5)$$

2.7 Coefficient of Power

Performa dari turbin angin Savonius ditentukan oleh *coefficient of power* (CoP). CoP secara teoritis didefinisikan sebagai perbandingan tenaga aerodinamis yang dihasilkan oleh turbin angin dengan tenaga yang dimiliki oleh angin yang mengalir menuju permukaan rotor turbin. Dari pengukuran nilai torsi mekanis dan kecepatan putar turbin, tenaga mekanis dapat diestimasi pada setiap kecepatan angin sebagai berikut,

$$P_m = \omega T \quad (2.6)$$

di mana:

P_m = Daya aktual yang dihasilkan turbin (watt)

ω = Kecepatan sudut turbin (rad/s)

$T =$ Torsi dinamis (N.m)

Energi teoritis yang dimiliki oleh angin yang mengalir menuju turbin dapat didefinisikan pada persamaan berikut,

$$P_t = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (2.7)$$

Nilai A dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut,

$$A = L.H \quad (2.8)$$

di mana:

$A =$ Luas permukaan turbin yang tegak lurus dengan arah datangnya angin (m^2)

$L =$ Panjang karakteristik (m)

$H =$ Tinggi turbin (m)

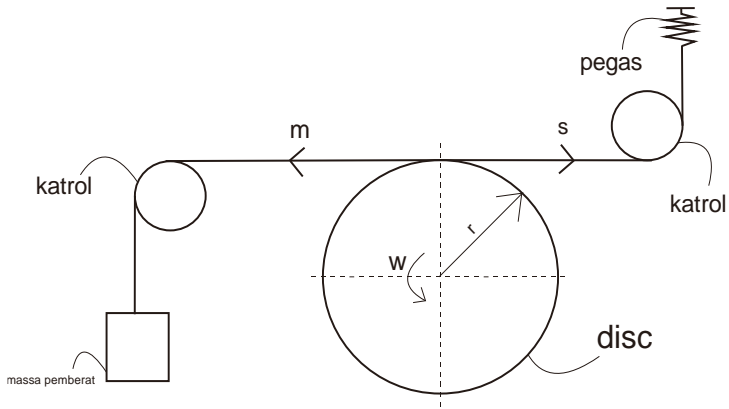
Kecepatan sudut didefinisikan sebagai berikut,

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} \quad (2.9)$$

di mana:

$N =$ Kecepatan putar poros (rpm)

Torsi dinamis didapatkan dari persamaan berikut,



Gambar 2. 5 Ilustrasi *Brake Dynamometer*

$$T = F \cdot r \quad (2.10)$$

di mana:

F = Gaya yang bekerja pada poros turbin (N)

r = Jari – jari silinder yang menerima beban (m)

Gaya yang bekerja pada poros didapatkan dari persamaan berikut,

$$F = (m - s)g \quad (2.11)$$

di mana:

F = Gaya yang bekerja pada poros (N)

m = Massa yang ditanggung oleh poros (Kg)

s = Pembacaan keseimbangan pegas

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

Coefficient of Power dapat didefinisikan melalui persamaan berikut,

$$C_{op} = \frac{P_m}{P_t} \quad (2.12)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan – persamaan yang telah dituliskan sebelumnya ke persamaan 2.13, didapatkan persamaan *Coefficient of Power* sebagai berikut,

$$C_{op} = \frac{g r \pi n |m-s|}{15 \rho A v^3} \quad (2.13)$$

Coefficient of Moment (C_m) merupakan perbandingan antara torsi mekanis yang dimiliki turbin dengan torsi teoritis yang didapatkan dari persamaan berikut,

$$C_m = \frac{C_{oP}}{\lambda} \quad (2.14)$$

2.8 Tip Speed Ratio

Tip speed ratio adalah perbandingan antara kecepatan dari ujung sudu dengan kecepatan angin yang mengalir melalui sudu. *Tip speed ratio* bisa didapatkan dengan persamaan sebagai berikut,

$$\lambda = \frac{V_{rotor}}{V} = \frac{\omega R}{V} \quad (2.15)$$

di mana:

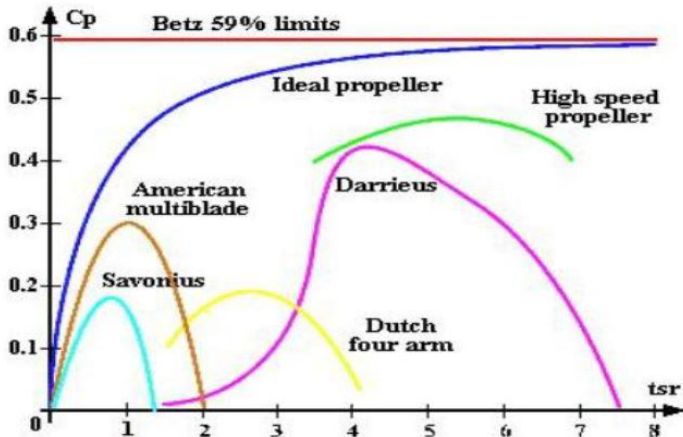
λ = *Tip speed ratio*

ω = Kecepatan sudut turbin (rad/s)

R = Jari – jari turbin (m)

V = Kecepatan angin (m/s)

Hubungan *Coefficient of Power* dengan *tip speed ratio* pada beberapa jenis turbin angin terdapat pada gambar berikut,



Gambar 2. 6 Grafik hubungan antara nilai *Coefficient of Power* terhadap *Tip Speed Ratio* untuk berbagai jenis turbin angin (Ambrosio, 2010)

Dapat dilihat pada gambar 2.6 bahwa setiap jenis turbin angin memiliki hubungan antara *Coefficient of Power* rata-rata dengan *tip speed ratio* yang berbeda. Namun, semuanya memiliki kesamaan yaitu semakin besar nilai *tip speed ratio* maka semakin besar nilai *Coefficient of Power* rata-rata hingga titik optimum *tip speed ratio*. Nilai *Coefficient of Power* menurun setelah melewati nilai *tip speed ratio* optimum. Titik kerja awal setiap jenis turbin angin berbeda-beda yang berarti tiap jenis turbin angin dapat mulai bekerja pada kecepatan angin yang berbeda. Semakin kecil titik awal kerja turbin, maka kecepatan angin yang dibutuhkan untuk menggerakkan turbin semakin kecil, begitu pula sebaliknya.

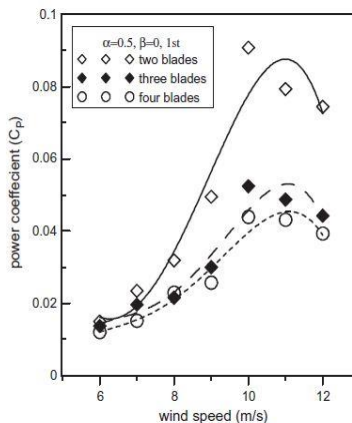
2.9 Penelitian Terdahulu

Penelitian – penelitian untuk meningkatkan performa kerja turbin angin Savonius telah dilakukan sebelumnya. Penelitian – penelitian tersebut dapat digunakan sebagai referensi untuk meningkatkan pemahaman pada penelitian ini.

Selain itu, referensi tersebut dapat digunakan untuk mengetahui variabel apa saja yang telah diteliti, agar pada penelitian ini dapat dianalisis variabel yang belum pernah diteliti sehingga performa kerja turbin angin Savonius dapat ditingkatkan kembali. Berikut adalah penjelasan mengenai penelitian – penelitian terdahulu tentang peningkatan performa kerja turbin angin Savonius,

2.9.1 Penelitian Peningkatan Performa Kerja Turbin Angin Savonius dengan Variasi Geometri

Mahmoud, et al. (2010) melakukan penelitian untuk meningkatkan performa kerja turbin angin Savonius dengan geometri turbin yang bervariasi. Variasi geometri memiliki nilai – nilai yang berbeda pada parameter berikut: dua sudu (2b), tiga sudu (3b), dan empat sudu (4b); *single stage* (1st.) dan *double stages* (2st.); *overlap ratio* (β) sebesar 0, 0,2, 0,25, 0,3, dan 0,35 dan *aspect ratio* sebesar 0,5, 1, 2, 4, dan 5 dengan tanpa memperhitungkan adanya plat di ujung turbin. Daya

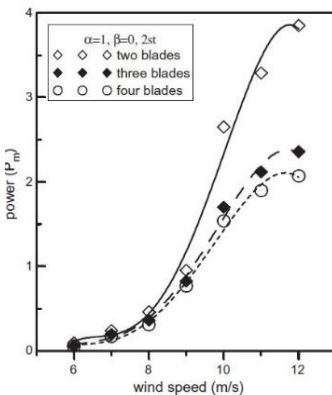


Gambar 2. 7 Hubungan antara *power coefficient* dan kecepatan angin untuk turbin angin Savonius dengan sudu dua, tiga, dan empat. (Mahmoud, 2010)

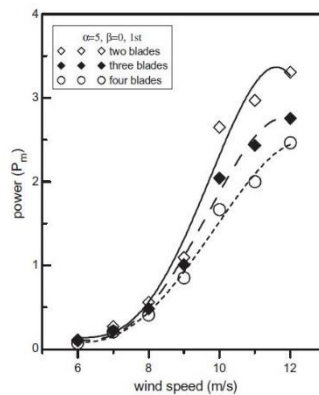
mekanis turbin angin Savonius yang diuji dapat ditentukan dengan mengukur torsi mekanis pada poros yang berputar dan kecepatan putar pada kecepatan angin yang berbeda – beda.

Gambar 2.7 Menunjukkan hubungan antara *Coefficient of Power* dengan kecepatan angin untuk susunan turbin angin Savonius dengan dua, tiga, dan empat sudu dan dengan *aspect ratio* sebesar 0,5, *overlap ratio* sebesar 0, dan bertipe *single stage*. *Coefficient of Power* turbin angin Savonius bersudu dua lebih tinggi dibandingkan dengan turbin angin Savonius bersudu tiga dan empat. Hal ini mungkin dapat terjadi karena gaya *drag* total pada turbin angin Savonius dengan sudu dua lebih tinggi dibandingkan dengan sudu tiga dan empat.

Gambar 2.8 mengilustrasikan variasi daya mekanis dengan kecepatan angin pada turbin angin Savonius yang dianalisis. Turbin dengan dua sudu memberikan tenaga mekanis yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin dengan

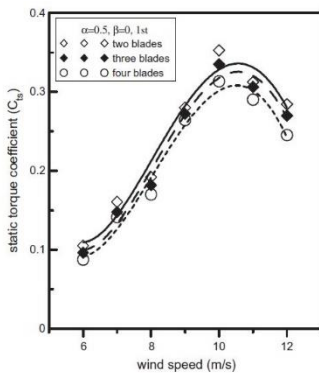


Gambar 2. 9 Variasi daya mekanis dengan kecepatan angin pada *aspect ratio* 5 (Mahmoud, 2010)

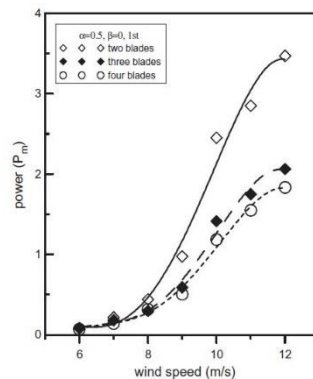


Gambar 2. 8 Variasi daya mekanis dengan kecepatan angin untuk turbin dengan dua, tiga, dan empat sudu (Mahmoud, 2010)

tiga dan empat sudu. Turbin dengan dua sudu juga lebih efisien pada *aspect ratio* lainnya dan pada turbin *double stages* seperti pada gambar 2.9 dan gambar 2.11. Dapat dilihat bahwa turbin dengan dua sudu memberikan performa lebih tinggi dibandingkan turbin dengan tiga dan empat sudu untuk semua *aspect ratio* serta untuk turbin *single stage* maupun *double stage*. Untuk memastikan pernyataan tersebut, *Coefficient of Static Torque* diukur pada tiap turbin dengan kecepatan angin yang divariasikan. *Coefficient of Static Torque* pada penelitian ini didefinisikan sebagai torsi yang menghentikan putaran turbin. Gambar 2.10 dan gambar 2.12 mengilustrasikan hubungan antara koefisien *Coefficient of Static Torque* dan kecepatan angin untuk turbin dengan sudu dua, tiga, dan empat, dengan *aspect ratio* sebesar 0,5 dan 5. Dapat dilihat bahwa *Coefficient of Static Torque* pada turbin dengan dua sudu memiliki nilai lebih besar dari torsi pada turbin dengan sudu tiga dan empat.

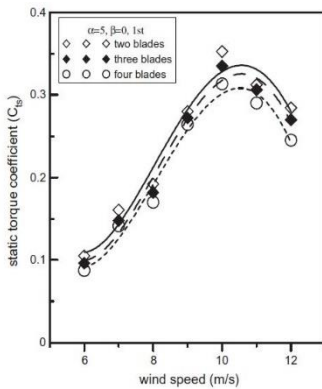


Gambar 2. 10 Hubungan antara koefisien torsi statis dan kecepatan angin untuk $\alpha = 0,5$ (Mahmoud, 2010)

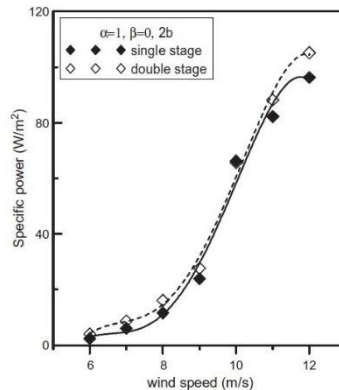


Gambar 2. 11 Variasi daya mekanis dengan kecepatan angin untuk turbin *double stage* (Mahmoud, 2010)

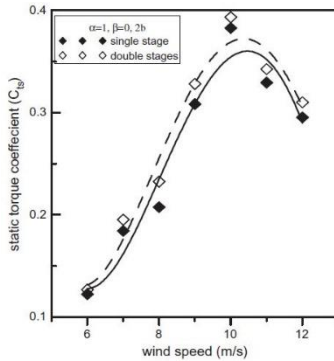
Pengaruh banyaknya *stages* pada turbin diteliti dengan parameter – parameter lain bernilai konstan. Turbin *double stage* memberikan tenaga spesifik lebih tinggi dibanding turbin *single stage* sesuai pada gambar 2.13. Tenaga spesifik didefinisikan sebagai tenaga yang didapat dari daerah turbin yang terkena aliran angin. Untuk memastikan pernyataan tersebut, *Coefficient of Static Torque* pada turbin *single stage* dan *double stage* diukur pada sudut rotasi yang sama dan pada kecepatan angin yang berbeda. Gambar 2.14 menunjukkan bahwa turbin *double stage* memiliki *Coefficient of Static Torque* lebih tinggi sehingga memiliki koefisien *Coefficient of Static Torque* lebih tinggi dibandingkan turbin *single stage*.



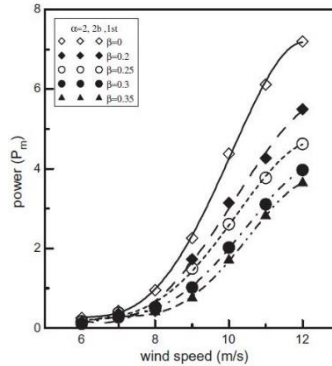
Gambar 2. 12 Hubungan antara koefisien *Coefficient of Static Torque* dan kecepatan angin untuk $\alpha = 0,5$ (Mahmoud, 2010)



Gambar 2. 13 Variasi Daya Spesifik dengan Kecepatan Angin untuk turbin *single* dan *double stage*

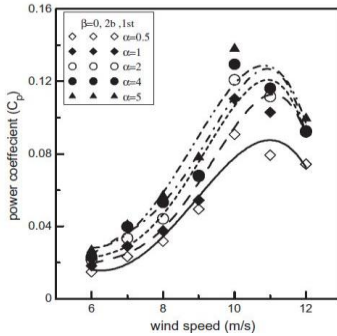


Gambar 2. 14 Variasi Koefisien Torsi Statis dengan Kecepatan Angin untuk Turbin *single* dan *double stage* (Mahmoud, 2010)

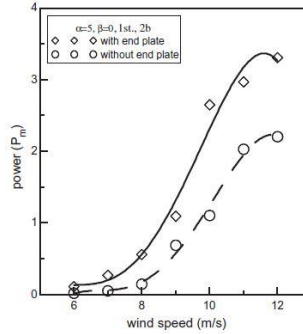


Gambar 2. 15 Variasi Daya Mekanis dengan Kecepatan Angin untuk *overlap ratio* yang berbeda (Mahmoud, 2010)

Pada penelitian ini *overlap ratio* bervariasi dari 0 hingga 0,35 diteliti dengan nilai parameter – parameter lain yang konstan. Gambar 2.16 mengilustrasikan hubungan antara tenaga mekanis dan kecepatan angin untuk *aspect ratio* yang diteliti. Dapat dilihat bahwa turbin tanpa *overlap* menghasilkan tenaga mekanis lebih besar dibanding turbin dengan *overlap*. Pada penelitian ini turbin – turbin berbeda dengan *aspect ratio* bernilai 0,5 hingga 5 diteliti dengan nilai parameter – parameter lain yang konstan. Gambar 2.16 menunjukkan variasi *power coefficient* dengan kecepatan angin untuk *aspect ratio* yang divariasikan. Jelas terlihat bahwa adanya peningkatan *power coefficient* selama meningkatnya *aspect ratio*. Untuk menguji pengaruh dari plat pada ujung turbin, turbin dengan dan tanpa dengan plat di ujungnya diteliti dengan parameter – parameter lain yang bernilai konstan. Variasi tenaga mekanis dengan kecepatan angin untuk turbin dengan dan tanpa dengan plat diujungnya dapat dilihat pada gambar 2.17. Turbin dengan plat



Gambar 2. 16 Variasi *Power Coefficient* dengan Kecepatan angin untuk *aspect ratio* yang bervariasi (Mahmoud, 2010)



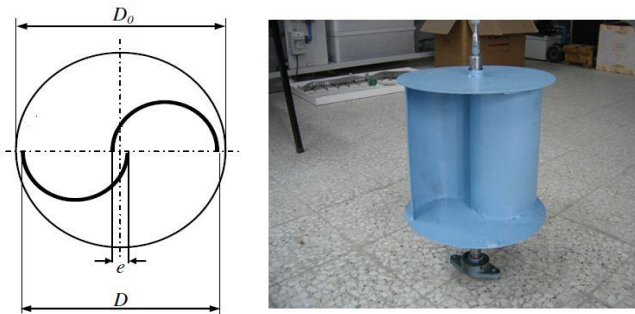
Gambar 2. 17 Variasi Daya Mekanis dengan Kecepatan angin untuk turbin dengan dan tanpa dengan plat di ujungnya (Mahmoud, 2010)

di ujungnya menghasilkan tenaga mekanis lebih besar daripada turbin tanpa dengan plat di ujungnya. Hal ini disebabkan adanya plat di ujung turbin meningkatkan jumlah angin yang mengenai sudu turbin angin Savonius.

2.9.2 Penelitian Peningkatan Performa Turbin Savonius dengan Penghalang

Altan, et al. (2008) melakukan penelitian untuk meningkatkan performa turbin angin Savonius dengan menggunakan penghalang tanpa merubah struktur dasar dari turbin. Turbin angin Savonius konvensional yang digunakan terbentuk dari dua setengah silinder yang terpasang pada sumbu vertikal dengan dan tanpa dengan celah di antara keduanya. Angin akan mengalir ke arah kedua sudu dan adalah penting untuk mencegah terjadinya torsi negatif dengan arah berlawanan arah putar turbin untuk meningkatkan performa turbin. Oleh sebab itu, suatu pengaturan penghalang didesain untuk berada di depan turbin angin Savonius untuk meningkatkan performa turbin.

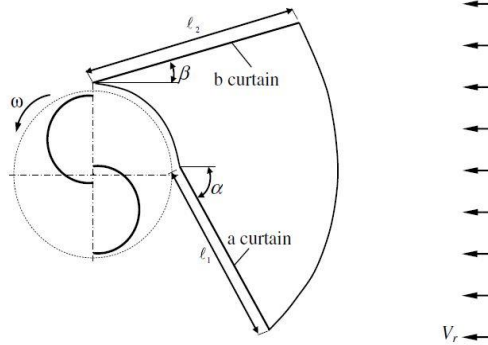
Geometri dari turbin angin Savonius pada penelitian ini antara lain adalah diameter turbin (D) dan tinggi turbin (H) sebesar 32 cm. Nilai e/d adalah sebesar 0,15 dan jarak celah (e) sebesar 2,6 cm. Ketebalan sudu turbin adalah sebesar 2 mm. Kedua *end plates* dibentuk dari plat baja setebal 4 mm dengan diameter plat (D_o) sebesar 35,2 cm. Turbin angin Savonius ditunjang oleh *ball bearing* untuk meminimalisir gaya gesek. Geometri turbin angin Savonius dapat dilihat pada gambar 2.18 berikut,



Gambar 2. 18 Parameter geometris dan tampak dari turbin angin Savonius (Altan, 2008)

Susunan penghalang dengan parameternya diilustrasikan pada gambar 2.19. Sudu dari penghalang (a dan b) adalah plat pembelok angin. Konstruksi plat pembelok angin ini sederhana dan murah karena materialnya tersusun atas plat – plat datar. Susunan penghalang dedesain sedemikian rupa agar tidak menghilangkan properti dari turbin angin Savonius, yaitu mampu menerima angin dari segala arah. Agar hal tersebut dapat terjadi, sebuah sensor diletakkan untuk

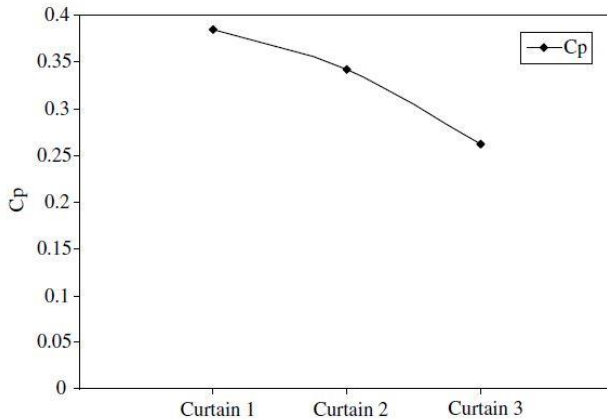
menyesuaikan susunan penghalang dengan arah datangnya angin.



Gambar 2. 19 Parameter geometris susunan penghalang (Altan, 2008)

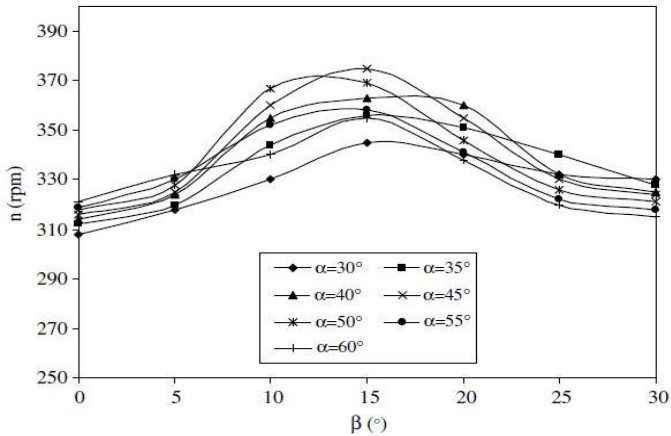
Terdapat empat variabel pada susunan penghalang. Variabel tersebut adalah panjang dari sudu penghalang (l_1 dan l_2) dan sudut dari sudu penghalang (α dan β). Nilai minimal dari α ditetapkan sebesar 30° yang dapat mencegah gaya angin pada *returning blade*. Penelitian ini mengukur α hingga sebesar 60° dengan peningkatan sudut sebesar 5° . Nilai β pada penelitian ini ditetapkan sebesar 0° hingga 30° . Panjang awal dari penghalang telah disesuaikan untuk melingkupi area efektif aliran angin. Selanjutnya, panjang l_1 dan l_2 diperpanjang secara perlahan untuk menemukan panjang optimum yang mampu menghasilkan torsi, tenaga, dan *power coefficient* maksimal. Pada penelitian ini digunakan tiga susunan penghalang dengan nama penghalang 1, penghalang 2, dan penghalang 3. Penghalang 1 memiliki panjang l_1 sebesar 45 cm dan l_2 sebesar 52 cm, penghalang 2 memiliki panjang l_1 sebesar 34 cm dan l_2 sebesar 39 cm, dan penghalang 3 memiliki panjang l_1 sebesar 22 cm dan l_2 sebesar 26 cm. Penghalang 1

memiliki panjang optimum, sedangkan penghalang 2 dan 3 secara berurutan memiliki 75% dan 50% panjang optimum.



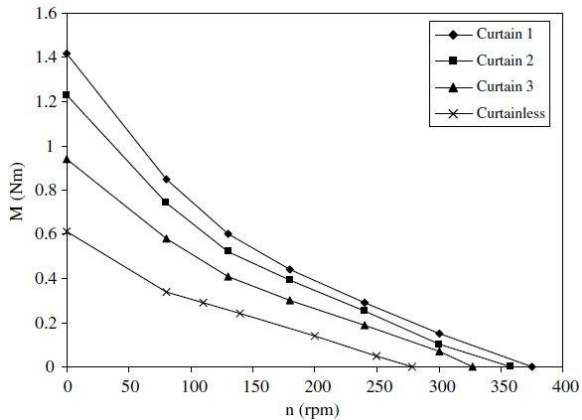
Gambar 2. 20 Pengaruh panjang penghalang terhadap Coefficient of Performance maksimum turbin (Altan, 2008)

Untuk panjang sudu penghalang yang berbeda, variasi dari *power coefficient* maksimum dari turbin angin Savonius ditunjukkan pada gambar 2.20. Penghalang 1 membuat turbin memiliki *Coefficient of Power* sebesar 0,38533, penghalang 2 membuat turbin memiliki *Coefficient of Power* sebesar 0,34154, dan penghalang 3 membuat turbin memiliki *Coefficient of Power* sebesar 0,26273. Berdasarkan gambar 2.20 dan pernyataan sebelumnya mengenai efek penghalang terhadap *Coefficient of Power*, dapat dilihat bahwa dengan menggunakan penghalang 1 turbin angin Savonius memiliki *Coefficient of Power* terbesar.



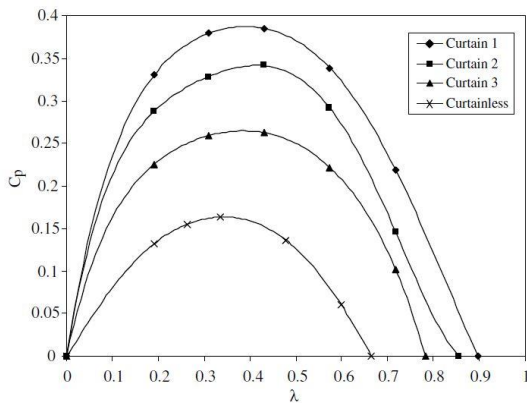
Gambar 2. 21 Pengaruh sudut sudu penghalang (α dan β) terhadap kecepatan putar pada penghalang 1 (Altan, 2008)

Pengaruh sudut sudu penghalang (α dan β) diteliti pada penghalang 1 karena tenaga maksimum turbin angin Savonius didapatkan pada susunan penghalang 1. Pengaruh sudut sudu penghalang terhadap kecepatan putar ditunjukkan pada gambar 2.21. Berdasarkan hasil yang didapat dari eksperimen, tidak cukup data aliran yang didapat untuk besar sudut sudu penghalang (β) di bawah 15° . Kecepatan putar terukur rendah untuk besar sudut sudu penghalang (β) di atas 15° . Eksperimen dilanjutkan pada besar sudut $\alpha = 45^\circ$ dan $\beta = 15^\circ$ karena pada sudut tersebut performa turbin maksimal. Pengaruh kecepatan putar terhadap torsi yang terjadi pada penghalang ditunjukkan pada gambar 2.22.



Gambar 2. 23 Pengaruh kecepatan putar terhadap torsi turbin pada $\alpha = 45^\circ$ dan $\beta = 15^\circ$ (Altan, 2008)

Gambar 2.23 menunjukkan pengaruh *tip speed ratio* terhadap *Coefficient of Power* yang dihasilkan turbin angin Savonius. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.23,



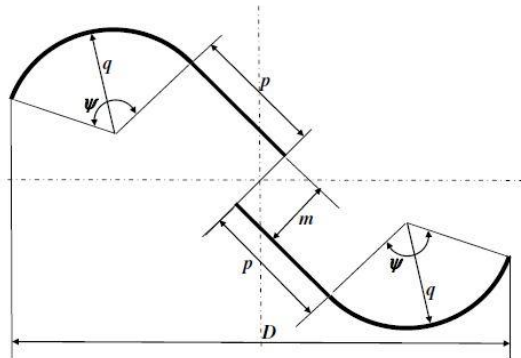
Gambar 2. 22 Pengaruh *tip speed ratio* terhadap *Coefficient of Power* turbin angin Savonius dengan $\alpha = 45^\circ$ dan $\beta = 15^\circ$ (Altan, 2008)

Coefficient of Power terbesar didapatkan pada nilai *tip speed ratio* (λ) sebesar 0,4 untuk semua susunan penghalang. Dapat dilihat juga pada gambar 2.23, *Coefficient of Power* turbin angin Savonius adalah sebesar 0,16 ketika tidak digunakan penghalang. Ketika turbin angin Savonius diberi susunan penghalang 1, *Coefficient of Power* turbin meningkat menjadi 0,385 untuk $\alpha = 45^\circ$ dan $\beta = 15^\circ$. Alasan mengapa *Coefficient of Power* maksimum didapatkan pada susunan penghalang 1 adalah penghalang 1 memiliki luasan yang lebih besar daripada penghalang 2 dan 3, sehingga penghalang 1 mampu membelokkan dan mengumpulkan lebih banyak aliran angin untuk dialirkan ke turbin angin Savonius. Pada penghalang 2 dan 3 terdapat aliran angin yang lolos pada ujung sudunya. Namun, didapatkan juga bahwa *Coefficient of Power* turbin angin Savonius lebih besar ketika menggunakan penghalang 2 dan 3 dibandingkan tanpa menggunakan penghalang.

2.9.3 Penelitian turbin angin Savonius *single stage* dengan poros tengah dan tanpa poros tengah

M.A. Kamoji, et. all (2008) melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh beberapa parameter geometris terhadap performa turbin angin Savonius tanpa poros di tengah turbin, khususnya koefisien *Coefficient of Static Torque*, koefisien torsi, dan *Coefficient of Power*. Parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah *overlap ratio*, *aspect ratio*, sudut *blade arc*, *blade shape factor*, dan bilangan *Reynolds*. Selain itu, dilakukan juga perbandingan performa turbin angin Savonius termodifikasi dengan poros, turbin angin

Savonius termodifikasi tanpa poros, dan turbin angin Savonius konvensional.



Gambar 2. 24 Turbin angin Savonius termodifikasi tanpa poros (Kamoji, 2008)

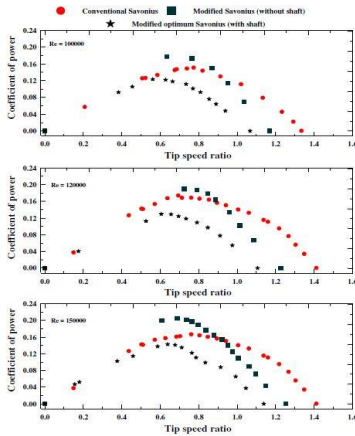
Tabel 2. 1 Konfigurasi turbin angin Savonius termodifikasi tanpa poros

Overlap ratio (m/D)	Aspect ratio (H/D)	Blade arc angle (ψ)	Blade shape factor (p/q)
0.0, 0.10, 0.16	0.77	124°	0.2
0.0	0.6, 0.7, 0.77, 1.0	124°	0.2
0.0	0.7	110°, 124°, 135°, 150°	0.2
0.0	0.7	124°	0.2, 0.4, 0.6

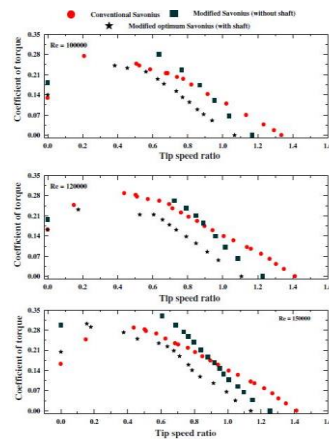
Gambar 2.24 menunjukkan turbin angin Savonius termodifikasi tanpa poros. Parameter geometris yang digunakan pada penelitian ini adalah *aspect ratio* (H/D), *overlap ratio* (m/D), *blade arc angle* (ψ), dan *blade shape factor* (p/q). Turbin angin Savonius termodifikasi difabrikasi dari pipa aluminium dengan ketebalan 2 mm. Turbin dilingkupi di atas dan di bawahnya oleh plat akrilik dengan ketebalan 10 mm. Turbin angin Savonius termodifikasi tanpa poros tidak

memiliki poros di antara kedua plat akrilik tersebut. Tabel 2.1 menunjukkan nilai – nilai parameter yang dianalisis dampaknya pada penelitian ini. Eksperimen dilakukan dengan parameter plat (D_o/D) pada nilai konstan sebesar 1,1 untuk bilangan *Reynolds* sebesar 120.000 dan 150.000.

Perbandingan turbin angin Savonius *single stage* dengan rotor yang termodifikasi dengan dan tanpa dengan poros di antara kedua plat dilakukan pada bilangan Reynolds dalam rentang 170.000 hingga 400.000. Dengan menggunakan



Gambar 2. 25 Variasi *coefficient of torque* dengan *tip speed ratio* untuk Savonius konvensional, Savonius termodifikasi tanpa poros, dan Savonius optimum termodifikasi dengan poros pada bilangan Reynolds sebesar 100.000, 120.000, dan 150.000 (Kamoji, 2008)



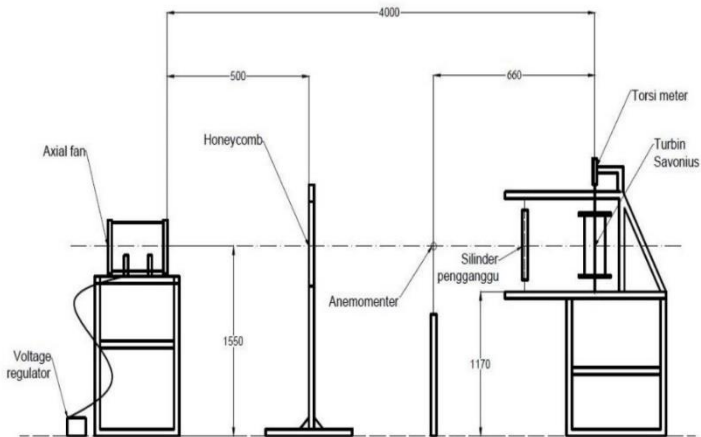
Gambar 2. 26 Variasi *coefficient of power* dengan *tip speed ratio* untuk Savonius konvensional, Savonius termodifikasi tanpa poros, dan Savonius optimum termodifikasi tanpa poros pada bilangan Reynolds sebesar 100.000, 120.000, dan 150.000 (Kamoji, 2008)

Tabel 2. 2 Perbandingan *coefficient of power* maksimal dan *tip speed ratio* serta *coefficient of torque* untuk rotor Savonius konvensional. Rotor Savonius optimum termodifikasi dengan poros, dan rotor Savonius optimum termodifikasi tanpa poros

Rotor	Re = 100,000			Re = 120,000			Re = 150,000		
	C _p max	TSR at C _p max	C _t at C _p max	C _p max	TSR at C _p max	C _t at C _p max	C _p max	TSR at C _p max	C _t at C _p max
Conventional Savonius	0.15	0.77	0.20	0.17	0.78	0.22	0.175	0.69	0.25
Modified optimum Savonius (with shaft)	0.12	0.56	0.22	0.13	0.61	0.21	0.14	0.64	0.22
Modified optimum Savonius (without shaft)	0.18	0.63	0.27	0.19	0.72	0.26	0.21	0.69	0.30

turbin bergeometri optimum, didapatkan *coefficient of power* maksimum sebesar 0,32 pada *tip speed ratio* sebesar 0,79. Geometri optimum tersebut tersusun atas *dimensionless overlap size* (m/D) sebesar nol, *dimensionless end extension* (s/D) sebesar nol, *blade aspect ratio* (H/D) sebesar 0,77, *blade shape parameter* (p/q) sebesar 0,2, *blade arc angle* (ψ) sebesar 135°, *end plate parameter* (Do/D) sebesar 1,33. Gambar 2.25 dan 2.26 menunjukkan perbandingan *coefficient of power* dan *coefficient of torque* untuk rotor Savonius optimum tanpa poros, rotor Savonius termodifikasi tanpa poros, dan rotor Savonius optimum konvensional tanpa poros pada bilangan Reynolds sebesar 100.000, 120.000, dan 150.000. Tabel 2.5 menunjukkan *coefficient of power* maksimal dengan *tip speed ratio* dan *coefficient of torque* untuk Savonius konvensional, Savonius optimum termodifikasi dengan poros, dan Savonius termodifikasi tanpa poros pada bilangan Reynolds sebesar 100.000, 120.000, dan 150.000. *Coefficient of power* maksimal dan *coefficient of torque* rotor Savonius termodifikasi tanpa poros memiliki nilai yang lebih besar daripada Savonius konvensional dan Savonius optimum termodifikasi dengan poros. *Coefficient of power* maksimal rotor Savonius termodifikasi tanpa poros meningkat sebesar 17%, 11%, dan 18% ketika dibandingkan dengan rotor Savonius konvensional tanpa poros pada bilangan Reynolds sebesar 100.000, 120.000, dan 150.000, secara berurutan.

2.9.4 Penelitian Peningkatan Performa Turbin Angin Savonius dengan Silinder Perganggu di Depan Returning Blade turbin.

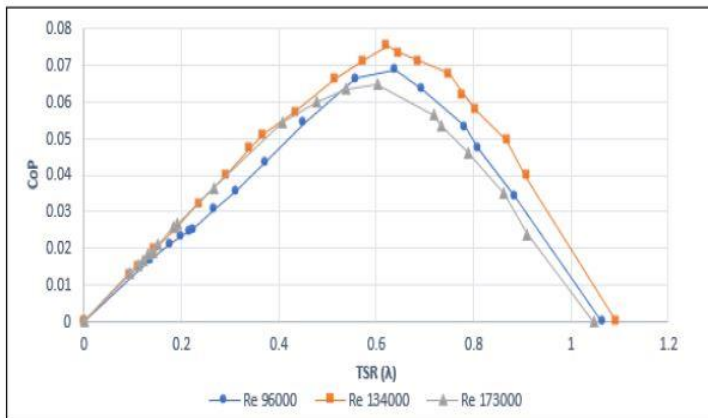


Gambar 2. 27 Skema susunan peralatan penelitian dan dimensinya (mm) (Fikri, 2019).

Penelitian dilakukan oleh **Fikri Amrul Alimin M (2019)** tentang studi eksperimen peningkatan kinerja turbin angin Savonius dengan penempatan silinder sirkular di depan *returning blade* turbin. Studi eksperimen dilakukan menggunakan turbin angin Savonius yang memiliki dua sudu dengan dimensi yaitu diameter sudu turbin (D) sebesar 165,2 mm, tinggi (H) sebesar 213 mm, diameter poros (b) sebesar 19 mm, dan diameter *end plate* (D_o) sebesar 321 mm. Penelitian ini menggunakan pengganggu yang berbentuk silinder dengan diameter (d) sebesar 82,6 mm dengan tinggi (t) sebesar 500 mm. Pengganggu tersebut diletakkan di depan *returnin blade* untuk mengurangi gaya *drag* pada sisi *returning blade* turbin angin Savonius. Sumber angin yang digunakan berasal dari *axial fan* yang dibantu oleh *honeycomb* di depannya agar aliran udara yang mengalir seragam. Untuk mengatur kecepatan *axial*

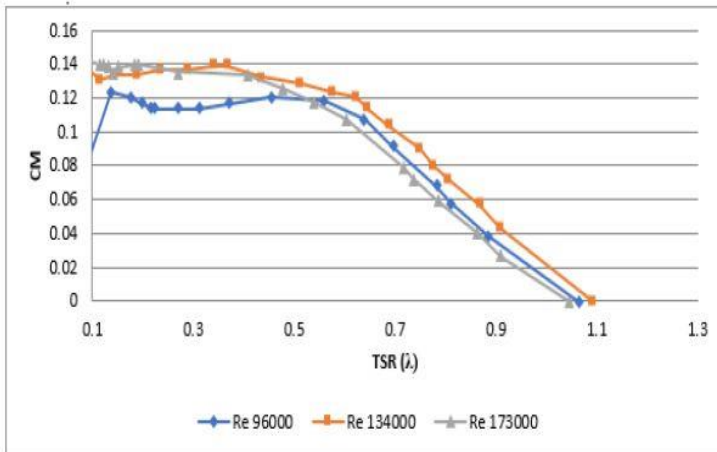
fan digunakan *voltage regulator*. Penelitian ini menggunakan rasio diameter pengganggu terhadap diameter sudu turbin d/D sebesar 0,5 dengan variasi jarak dari titik pusat turbin sampai titik pusat silinder pengganggu terhadap diameter turbin $S/D - 2,0; 2,2; 2,4; 2,6; 2,8$ dan variasi bilangan Reynolds sebesar 96.000, 134.000, dan 173.000. Kecepatan angin diukur menggunakan anemometer, torsi dinamis diukur menggunakan *brake dynamometer*, *Coefficient of Static Torque* diukur menggunakan torsi meter, dan putaran turbin diukur menggunakan tachometer. Skema susunan peralatan penelitian dapat dilihat pada gambar 2.27.

Gambar 2.28 menunjukkan perbandingan nilai CoP turbin Savonius tanpa silinder pengganggu sebagai fungsi nilai TSR masing – masing pada bilangan Reynolds sebesar $9,6 \times 10^4$, $13,4 \times 10^4$, dan $17,3 \times 10^4$. Dapat dilihat bahwa trendline grafik tersebut memiliki bentuk parabolik dengan nilai CoP



Gambar 2. 28 Grafik CoP turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu sebagai fungsi TSR pada masing – masing bilangan Reynolds $9,6 \times 10^4$, $13,4 \times 10^4$, $17,3 \times 10^4$ (Fikri, 2019)

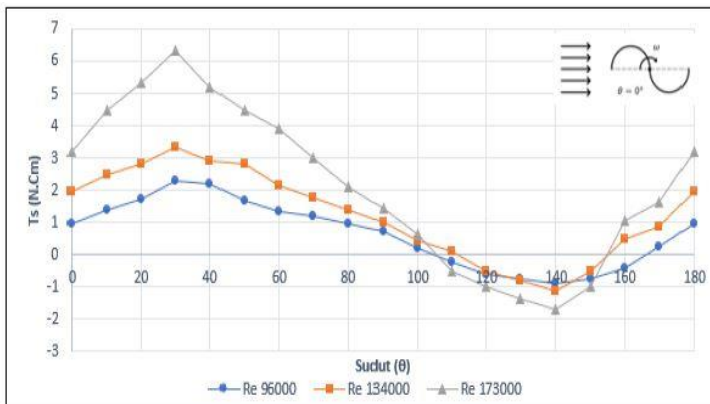
naik hingga nilai TSR tertentu yaitu pada CoP maksimumnya kemudian turun sampai TSR maksimum. Pada turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu, nilai CoP paling tinggi adalah pada bilangan Reynolds $13,4 \times 10^4$ pada $TSR = 0,62$ dengan nilai CoP maksimum sebesar 0,07514. Pada penelitian dengan menggunakan bilangan Reynolds $9,6 \times 10^4$, nilai CoP maksimum adalah sebesar 0,068 pada TSR sebesar 0,6395. Pada penelitian dengan menggunakan bilangan Reynolds $17,3 \times 10^4$, didapatkan nilai CoP maksimum sebesar 0,0647 pada TSR sebesar 0,6062. Ketiga grafik CoP masing – masing menunjukkan bahwa performa turbin angin Savonius akan meningkat hingga TSR optimal tertentu kemudian akan turun setelah melewati TSR optimalnya pada masing – masing bilangan Reynolds. Turbin angin Savonius tanpa menggunakan silinder pengganggu bekerja lebih optimal pada bilangan Reynolds $13,4 \times 10^4$ atau pada kecepatan 7 m/s. Berdasarkan data tersebut, dapat dilihat bahwa kemampuan turbin angin



Gambar 2. 29 Grafik *Coefficient of Moment* (Cm) turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu sebagai fungsi TSR (Fikri, 2019)

Savonius tidak terlalu baik pada kecepatan rendah maupun tinggi, dibuktikan dengan pada bilangan Reynolds $13,4 \times 10^4$ nilai CoP adalah tertinggi sedangkan pada bilangan Reynolds $9,6 \times 10^4$ dan $17,3 \times 10^4$ nilai CoP lebih rendah.

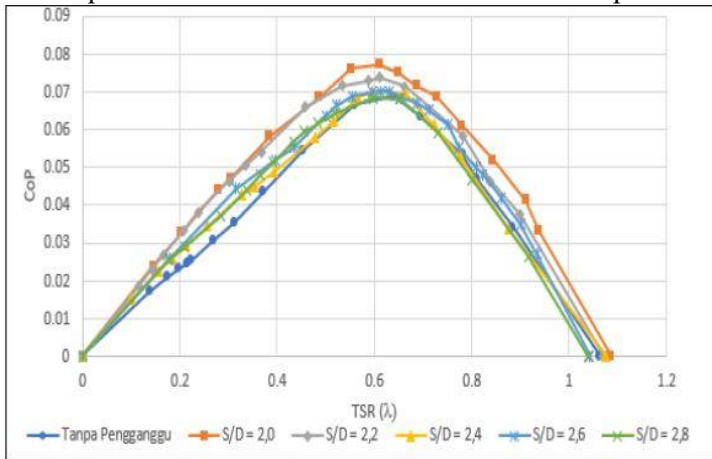
Gambar 2.29 merupakan gambar perbandingan nilai C_m terhadap nilai bilangan Reynolds masing – masing sebesar $9,6 \times 10^4$; $13,4 \times 10^4$; dan $17,3 \times 10^4$ sebagai fungsi TSR. Nilai TSR yang didapatkan bervariasi dari 0 hingga 1,093. Dapat dilihat trendline dari grafik bahwa nilai C_m semakin menurun dengan bertambahnya nilai TSR. Grafik dengan bilangan Reynolds sebesar $13,4 \times 10^4$ mempunyai nilai C_m paling besar dibandingkan dengan grafik pada nilai bilangan Reynolds sebesar $9,6 \times 10^4$ dan $17,3 \times 10^4$. Pada bilangan Reynolds $9,6 \times 10^4$ nilai C_m maksimum adalah 0,12339 pada TSR sebesar 0,1382. Pada bilangan Reynolds $13,4 \times 10^4$ nilai C_m maksimum adalah 0,13897 pada TSR sebesar 0,36746. Pada bilangan Reynolds $17,3 \times 10^4$ nilai C_m maksimum adalah 0,1418 pada TSR 0,09386. Secara garis besar dapat dilihat



Gambar 2. 30 Grafik *Coefficient of Static Torque* (C_t) turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu sebagai fungsi posisi sudut *blade* (θ) (Fikri, 2019).

bahwa trendline C_m turun seiring bertambahnya nilai TSR. Turbin angin Savonius bekerja lebih efektif pada kecepatan medium atau tinggi dan kurang efektif bekerja pada kecepatan rendah.

Gambar 2.30 merupakan grafik *Coefficient of Static Torque* (C_t) turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu sebagai fungsi posisi sudut *blade* (θ). Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa *trendline* grafik berbentuk sinusoidal. Pada ketiga grafik bilangan Reynolds tersebut dapat dilihat bahwa nilai *Coefficient of Static Torque* meningkat hingga sudut 30° kemudian turun hingga sudut 140° kemudian kembali naik hingga sudut terakhir. Pada bilangan Reynolds $9,6 \times 10^4$ saat sudut 0° , nilai *Coefficient of Static Torque* adalah sebesar 0,94 N.cm kemudian naik sampai nilai maksimumnya sebesar 2,3 N.cm pada sudut 30° kemudian turun sampai nilai

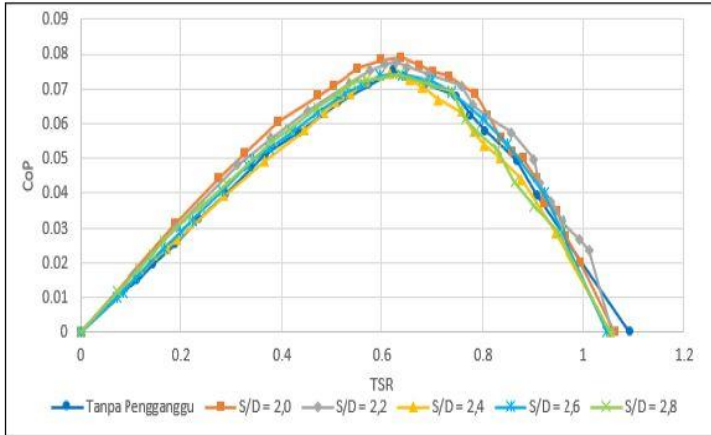


Gambar 2. 31 Grafik *Coefficient of Power* (CoP) turbin angin Savonius dalam fungsi *Tip Speed Ratio* (TSR) tanpa dan dengan silinder pengganggu pada bilangan Reynolds $9,6 \times 10^4$ (Fikri, 2019)

minimumnya – 0.88 N.cm pada posisi sudut 140° kemudian

naik lagi sampai sudut 180° dengan nilai *Coefficient of Static Torque* $0,94 \text{ N.cm}$. Pada bilangan Reynolds $13,4 \times 10^4$ saat sudut 0° , nilai *Coefficient of Static Torque* adalah sebesar $1,94 \text{ N.cm}$ kemudian naik sampai nilai maksimumnya sebesar $3,32 \text{ N.cm}$ pada sudut 30° kemudian nilai *Coefficient of Static Torque* menurun sampai nilai minimumnya sebesar $-1,12$ pada sudut 140° kemudian naik lagi hingga sudut 180° dengan nilai *Coefficient of Static Torque* $1,94 \text{ N.cm}$. Pada bilangan Reynolds $17,3 \times 10^4$ saat sudut 0° , *Coefficient of Static Torque* maksimum adalah sebesar $6,32 \text{ N.cm}$ pada sudut 30° kemudian nilai *Coefficient of Static Torque* menurun hingga nilai minimumnya sebesar $-1,72 \text{ N.cm}$ pada sudut 140° dan naik lagi sampai sudut 180° dengan nilai *Coefficient of Static Torque* sebesar $3,16 \text{ N.cm}$. *Coefficient of Static Torque* maksimum bernilai maksimum pada masing – masing nilai bilangan Reynolds pada posisi sudut 30° . Hal ini menunjukkan bahwa pada sudut 30° , turbin memiliki nilai *self starting* paling tinggi dibandingkan sudut lainnya. Nilai torsi negatif pada sudut 140° menunjukkan bahwa pada sudut tersebut turbin tidak memiliki kemampuan *self-starting*.

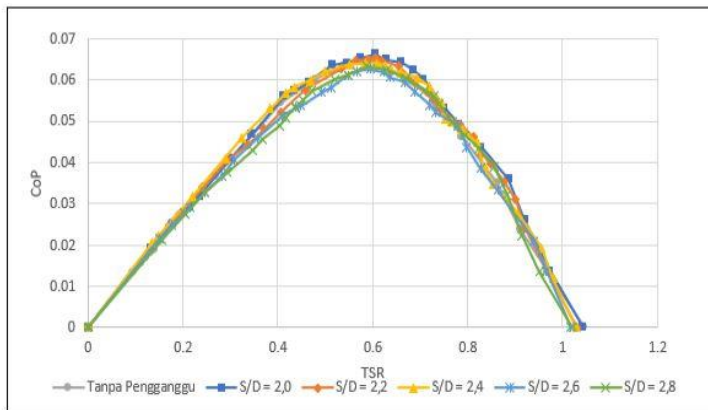
Gambar 2.31 merupakan grafik *Coefficient of Power* (CoP) turbin angin Savonius tanpa dan dengan silinder pengganggu pada bilangan Reynolds $9,6 \times 10^4$. Variasi posisi pengganggu yang digunakan adalah jarak S/D yaitu sebesar 2,0; 2,2; 2,4; 2,6; dan 2,8. Variasi nilai TSR didapatkan hingga didapatkan variasi TSR mulai dari 0 hingga 1,086 sesuai data pada grafik. Dapat dilihat bahwa grafik yang dihasilkan pada gambar 2.31 mempunyai *trendline* nilai CoP berbentuk parabolik yang naik hingga nilai maksimum pada TSR tertentu kemudian turun setelah melewati titik maksimum. Pada turbin angin tanpa diberi pengganggu, didapatkan nilai CoP maksimum sebesar 0,068 pada TSR sebesar 0,639. Pemberian silinder



Gambar 2. 32 Grafik *Coefficient of Power* (CoP) turbin angin Savonius fungsi *Tip Speed Ratio* (TSR) tanpa dengan dan dengan silinder pengganggu pada bilangan Reynolds $13,4 \times 10^4$ (Fikri, 2019)

pengganggu di depan *returning blade* turbin angin yang paling efektif meningkatkan CoP turbin adalah pada posisi S/D sebesar 2,0 dengan nilai CoP maksimum sebesar 0,077 pada TSR sebesar 0,610. Peningkatan yang terjadi adalah sebesar 0,009 dari CoP turbin tanpa diberi silinder pengganggu. Jika pengganggu diletakkan pada posisi S/D sebesar 2,8, CoP maksimum memiliki nilai terendah sebesar 0,068 pada TSR sebesar 0,599. Nilai CoP tersebut sama seperti turbin ketika tidak diberi pengganggu

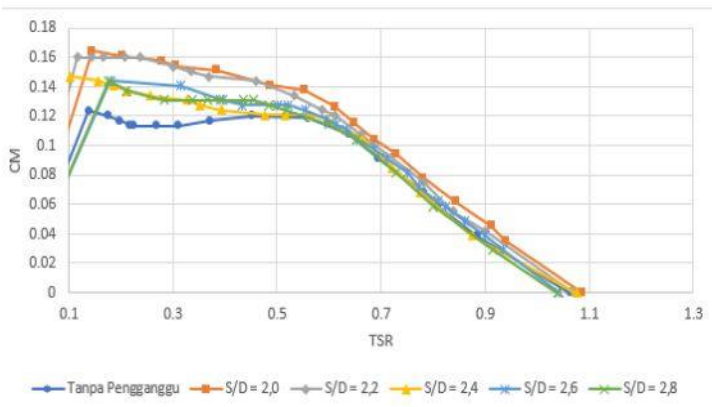
Gambar 2.32 merupakan grafik *Coefficient of Power* (CoP) turbin angin Savonius tanpa dengan dan dengan silinder pengganggu pada bilangan Reynolds $13,4 \times 10^4$. Variasi posisi pengganggu yang digunakan adalah jarak S/D yaitu sebesar 2,0; 2,2; 2,4, 2,6; dan 2,8. Variasi nilai TSR didapatkan dengan memvariasikan massa pemberat yang diberikan hingga didapatkan variasi TSR mulai dari 0 hingga 1,093 sesuai dengan data pada grafik. Dapat dilihat bahwa grafik yang dihasilkan pada gambar 2.32 mempunyai *trendline* nilai CoP berbentuk parabolik yang naik hingga nilai maksimum pada TSR tertentu, kemudian turun setelah melewati titik maksimum. Pada turbin angin tanpa diberi pengganggu didapatkan nilai CoP maksimum yaitu sebesar 0,075 pada TSR sebesar 0,623. Pemberian silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin angin yang paling efektif meningkatkan CoP turbin adalah pada posisi S/D sebesar 2,0 dengan nilai CoP maksimum sebesar 0,079 pada TSR sebesar 0,683.



Gambar 2. 33 Grafik *Coefficient of Power* (CoP) turbin angin Savonius dalam fungsi *Tip Speed Ratio* (TSR) tanpa dengan dan dengan silinder pengganggu pada bilangan Reynolds $17,3 \times 10^4$ (Fikri, 2019)

Peningkatan yang terjadi adalah sebesar 0,004 dari CoP turbin tanpa diberi silinder pengganggu. Sedangkan pengganggu yang diletakkan pada posisi S/D sebesar 2,8, memiliki nilai CoP maksimum terendah sebesar 0,074 pada TSR sebesar 0,634. Nilai CoP tersebut berada sedikit di bawah CoP turbin tanpa diberi pengganggu.

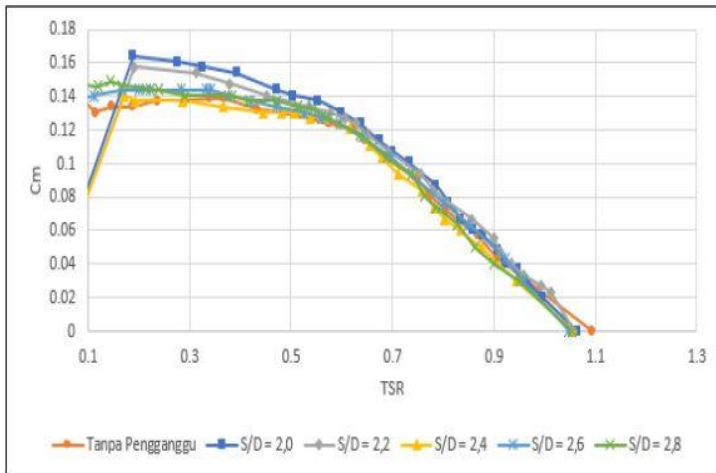
Gambar 2.33 merupakan grafik *Coefficient of Power* (CoP) turbin angin Savonius tanpa dengan dan dengan silinder pengganggu pada bilangan Reynolds $17,3 \times 10^4$. Variasi posisi pengganggu yang digunakan adalah jarak $S/D = 2,0; 2,2; 2,4; 2,6; \text{ dan } 2,8$. Variasi nilai TSR didapatkan dengan memvariasikan massa pemberat yang diberikan hingga didapatkan variasi TSR mulai dari 0 hingga 1,043 sesuai data pada grafik. Dapat dilihat bahwa grafik yang dihasilkan pada gambar 2.33 mempunyai *trendline* nilai CoP berbentuk parabolik yang naik hingga nilai maksimum pada TSR tertentu kemudian turun setelah melewati titik maksimum. Turbin



Gambar 2. 34 Grafik *Coefficient of Moment* (Cm) turbin angin Savonius fungsi *Tip Speed Ratio* (TSR) tanpa dengan dan dengan silinder pengganggu pada bilangan Reynolds $9,6 \times 10^4$ (Fikri, 2019)

angin tanpa diberi pengganggu memiliki nilai CoP maksimum sebesar 0,063 pada TSR sebesar 0,538. Pemberian silinder pengganggu di depan *returnin blade* turbin angin yang paling efektif meningkatkan CoP turbin adalah pada posisi S/D sebesar 2,0, dengan nilai CoP maksimum sebesar 0,066 pada TSR sebesar 0,605. Peningkatan yang terjadi sebesar 0,003 dari CoP turbin tanpa diberi silinder pengganggu. Pengganggu yang diletakkan pada posisi S/D sebesar 2,8 membuat turbin menghasilkan CoP maksimum paling rendah sebesar 0,063 pada TSR sebesar 0,588. Nilai CoP tersebut sama dengan CoP turbin tanpa diberi pengganggu.

Gambar 2.34 merupakan grafik *Coefficient of Moment* (Cm) turbin angin Savonius tanpa dengan dan dengan silinder pengganggu pada bilangan Reynolds $9,6 \times 10^4$. Variasi posisi pengganggu yang digunakan adalah jarak S/D sebesar 2,0; 2,2;

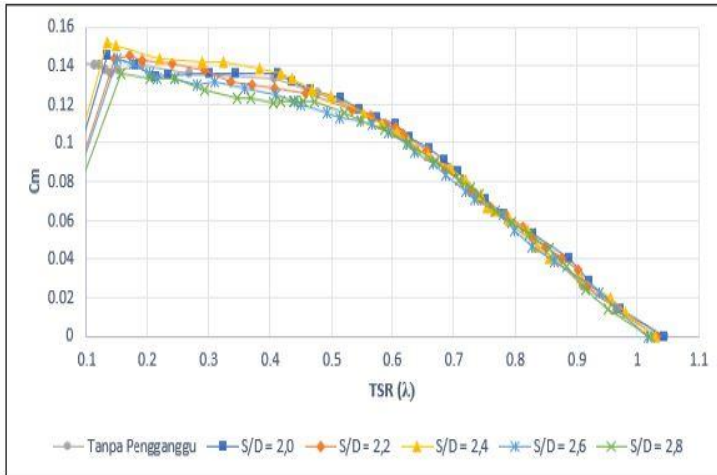


Gambar 2. 35 Grafik *Coefficient of Moment* (Cm) turbin angin Savonius fungsi *Tip Speed Ratio* (TSR) tanpa dengan dan dengan silinder pengganggu pada bilangan Reynolds $13,4 \times 10^4$ (Fikri, 2019)

2,4; 2,6, dan 2,8. Variasi nilai TSR didapatkan dengan memvariasikan massa pemberat yang diberikan hingga didapatkan variasi TSR mulai dari 0 hingga 1,086 sesuai data pada grafik. Dapat dilihat bahwa grafik yang dihasilkan pada gambar 2.34 mempunyai *trendline* nilai C_m yang naik hingga nilai maksimum C_m pada TSR tertentu kemudian turun setelah melewati titik maksimum seiring bertambahnya TSR. Turbin angin tanpa diberi pengganggu memiliki nilai C_m maksimum sebesar 0,123 pada TSR sebesar 0,138. Pemberian silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin angin yang paling efektif meningkatkan C_m turbin adalah pada posisi S/D sebesar 2,0 dengan nilai C_m maksimum sebesar 0,164 pada TSR sebesar 0,145. Peningkatan terjadi sebesar 0,041 dari C_m turbin tanpa diberi silinder pengganggu. Pengganggu yang diletakkan pada posisi S/D sebesar 2,8 memiliki nilai C_m maksimum paling rendah sebesar 0,143 pada TSR sebesar 0,176.

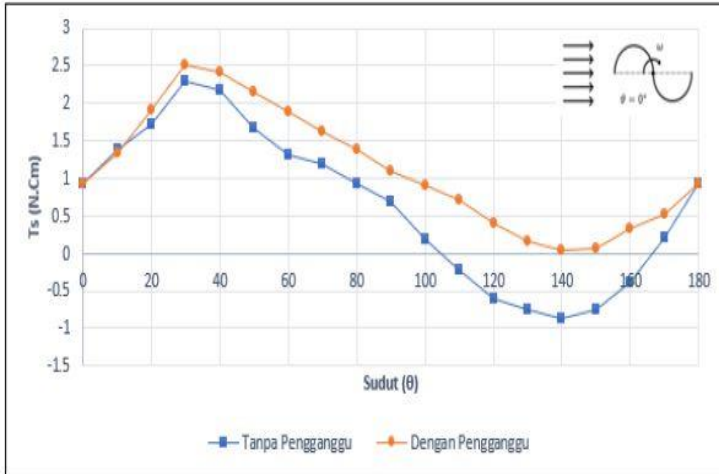
Gambar 2.35 merupakan grafik *Coefficient of Moment* (C_m) turbin angin Savonius tanpa dengan dan dengan silinder pengganggu pada bilangan Reynolds $13,4 \times 10^4$. Variasi posisi pengganggu yang digunakan adalah jarak S/D sebesar 2,0; 2,2; 2,4; 2,6, dan 2,8. Variasi nilai TSR didapatkan dengan memvariasikan massa pemberat yang diberikan hingga didapatkan variasi TSR mulai dari 0 hingga 1,093 sesuai data pada grafik. Dapat dilihat bahwa grafik yang dihasilkan pada gambar 2.35 mempunyai *trendline* nilai C_m yang naik hingga nilai maksimum C_m pada TSR tertentu kemudian turun setelah melewati titik maksimum seiring bertambahnya TSR. Turbin angin tanpa diberi pengganggu memiliki nilai C_m maksimum sebesar 0,139 pada TSR sebesar 0,340. Pemberian silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin angin yang paling efektif meningkatkan C_m turbin adalah pada posisi S/D sebesar 2,0 dengan nilai C_m maksimum sebesar 0,164 pada TSR sebesar 0,189. Peningkatan terjadi sebesar 0,025 dari C_m turbin tanpa diberi silinder pengganggu. Pengganggu yang diletakkan

pada posisi S/D sebesar 2,4 memiliki nilai C_m maksimum paling rendah sebesar 0,140 pada TSR sebesar 0,171.



Gambar 2. 36 Grafik *Coefficient of Moment* (C_m) turbin angin Savonius fungsi *Tip Speed Ratio* (TSR) tanpa dengan dan dengan silinder pengganggu pada bilangan Reynolds $17,3 \times 10^4$ (Fikri, 2019)

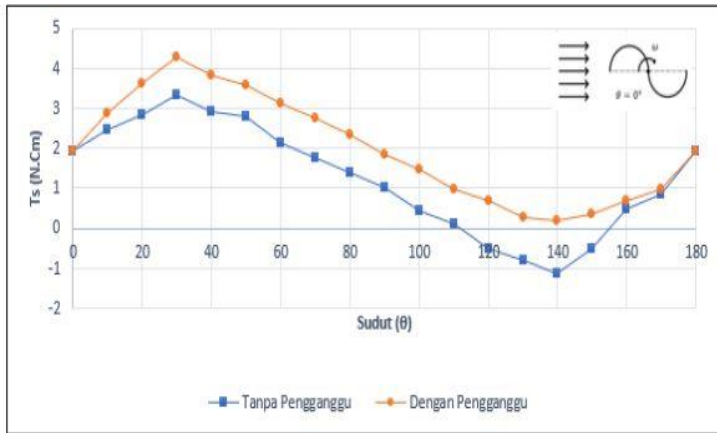
Gambar 2.36 merupakan grafik *Coefficient of Moment* (C_m) turbin angin Savonius tanpa dengan dan dengan silinder pengganggu pada bilangan Reynolds $17,3 \times 10^4$. Variasi posisi pengganggu yang digunakan adalah jarak S/D sebesar 2,0; 2,2; 2,4; 2,6; dan 2,8. Variasi nilai TSR didapatkan dengan memvariasikan massa pemberat yang diberikan hingga didapatkan variasi TSR mulai dari 0 hingga 1,043 sesuai data pada grafik. Dapat dilihat bahwa grafik yang dihasilkan pada gambar 2.36 mempunyai *trendline* nilai C_m yang naik hingga nilai maksimu C_m pada TSR tertentu kemudian turun setelah melewati titik maksimum seiring bertambahnya TSR. Turbin angin tanpa diberi pengganggu memiliki nilai C_m maksimum



Gambar 2. 37 Grafik perbandingan *Coefficient of Static Torque* (C_t) turbin angin Savonius dalam fungsi sudut (θ) tanpa dengan dan dengan silinder pengganggu pada bilangan Reynolds $9,6 \times 10^4$ (Fikri, 2019)

sebesar 0,141 pada TSR sebesar 0,093. Pemberian silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin angin yang paling efektif meningkatkan C_m turbin adalah pada posisi S/D sebesar 2,4 dengan nilai C_m maksimum sebesar 0,151 pada TSR sebesar 0,134. Peningkatan terjadi sebesar 0,010 dari C_m turbin tanpa diberi silinder pengganggu. Pengganggu yang diletakkan pada posisi S/D sebesar 2,8 memiliki nilai C_m maksimum paling rendah sebesar 0,135 pada TSR sebesar 0,156.

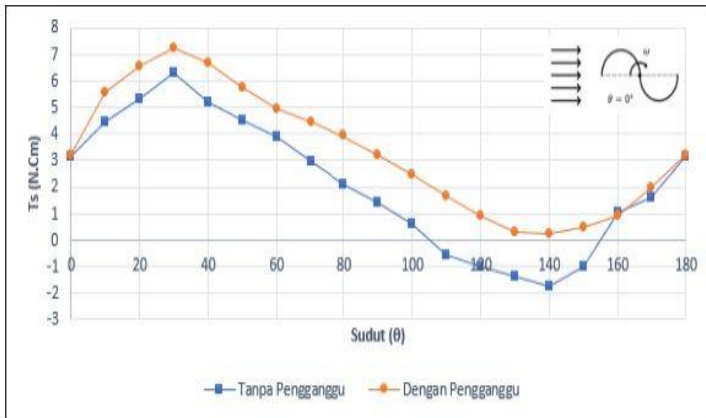
Gambar 2.37 merupakan grafik *Coefficient of Static Torque* (C_t) turbin angin Savonius tanpa dengan dan dengan silinder pengganggu pada bilangan Reynolds $9,6 \times 10^4$. Pengganggu yang digunakan adalah pada jarak S/D sebesar 2,0. Variasi nilai sudut dilakukan mulai 0° hingga 180° dengan kenaikan 10° . Dapat dilihat pada gambar 2.37 bahwa grafik mempunyai *trendline* yang membentuk grafik sinusoidal.



Gambar 2. 38 Grafik perbandingan *Coefficient of Static Torque* (C_t) turbin angin Savonius dalam fungsi sudut (θ) tanpa dengan dan dengan silinder pengganggu pada bilangan Reynolds $13,4 \times 10^4$ (Fikri, 2019)

Grafik naik hingga nilai maksimum C_t pada sudut tertentu kemudian turun setelah melewati titik maksimum hingga dicapai nilai C_t minimal. Grafik kembali mengalami kenaikan hingga sudut terakhir. Turbin angin tanpa diberi silinder pengganggu memiliki nilai *Coefficient of Static Torque* maksimum sebesar 2,3 N.cm pada sudut 30° . Nilai *Coefficient of Static Torque* mengalami penurunan hingga nilai minimal sebesar $-0,88$ N.cm pada sudut 140° . Nilai *Coefficient of Static Torque* naik lagi hingga sudut 180° . Pemberian silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin angin pada posisi S/D sebesar 2,0 memberikan hasil nilai torsi maksimum yang meningkat menjadi sebesar 2,5 N.cm pada sudut 30° . Nilai *Coefficient of Static Torque* minimal juga mengalami peningkatan yaitu menjadi 0,04 N.cm pada sudut 140° .

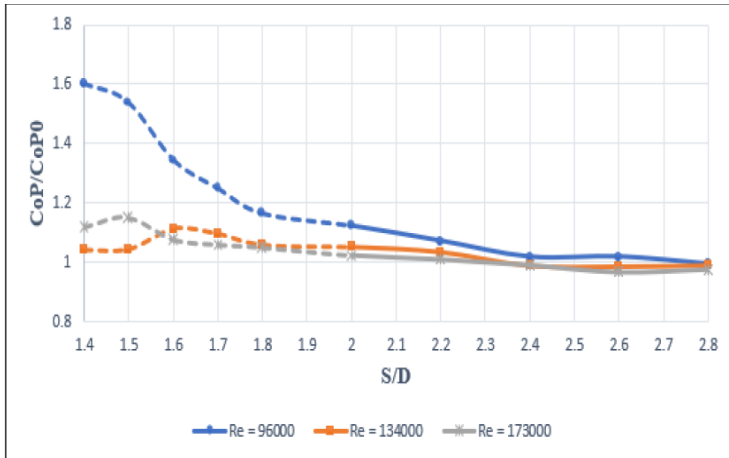
Gambar 2.38 merupakan grafik *Coefficient of Static Torque* (C_t) turbin angin Savonius tanpa dengan dan dengan silinder pengganggu pada bilangan Reynolds $13,4 \times 10^4$. Pengganggu yang digunakan adalah pada jarak S/D sebesar 2,0. Variasi nilai sudut dilakukan mulai 0° hingga 180° dengan kenaikan 10° . Dapat dilihat pada gambar 2.38 bahwa grafik memiliki *trendline* yang membentuk grafik sinusoidal. Grafik naik hingga nilai maksimum C_t pada sudut tertentu kemudian turun setelah melewati titik maksimum hingga dicapai nilai C_t minimum. Grafik kembali mengalami kenaikan hingga sudut terakhir. Turbin angin tanpa diberi pengganggu memiliki *Coefficient of Static Torque* maksimum sebesar 3,32 N.cm pada sudut 30° . *Coefficient of Static Torque* mengalami penurunan hingga nilai minimal sebesar -1,12 N.cm pada sudut 140° . *Coefficient of Static Torque* mengalami kenaikan lagi hingga sudut 180° . Pemberian silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin angin pada posisi S/D sebesar 2,0



Gambar 2. 39 Grafik perbandingan *Coefficient of Static Torque* (C_t) turbin angin Savonius fungsi sudut (θ) tanpa dengan dan dengan silinder pengganggu pada bilangan Reynolds $17,3 \times 10^4$ (Fikri, 2019)

membuat nilai torsi maksimum turbin mengalami peningkatan sebesar 4,28 N.cm pada sudut 30°. Nilai minimal torsi turbin juga mengalami peningkatan yaitu menjadi 0,2 N.cm pada sudut 140°.

Gambar 2.39 merupakan grafik *Coefficient of Static Torque* (Ct) turbin angin Savonius tanpa dengan dan dengan silinder pengganggu pada bilangan Reynolds $17,3 \times 10^4$. Pengganggu yang digunakan adalah pada jarak S/D sebesar 2,0. Variasi nilai sudut dilakukan mulai 0° hingga 180° dengan kenaikan 10°. Dapat dilihat pada gambar 2.39 bahwa grafik memiliki *trendline* yang membentuk grafik sinusoidal. Grafik naik hingga nilai maksimum Ct pada sudut tertentu kemudian turun setelah melewati titik maksimum hingga dicapai nilai Ct minimumnya. Grafik kembali mengalami kenaikan hingga sudut terakhir. Turbin angin tanpa diberi pengganggu memiliki nilai *Coefficient of Static Torque* maksimum sebesar 6,32 N.cm pada sudut 30°. *Coefficient of Static Torque* mengalami penurunan hingga nilai minimal sebesar 1,72 N.cm pada sudut 140°. *Coefficient of Static Torque* mengalami kenaikan lagi hingga sudut 180°. Pemberian silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin angin pada posisi S/D sebesar 2,0 membuat nilai torsi maksimum turbin mengalami peningkatan menjadi sebesar 7,26 N.cm pada sudut 30°. Nilai minimal torsi turbin juga mengalami peningkatan yaitu menjadi 0,24 N.cm pada sudut 140°.

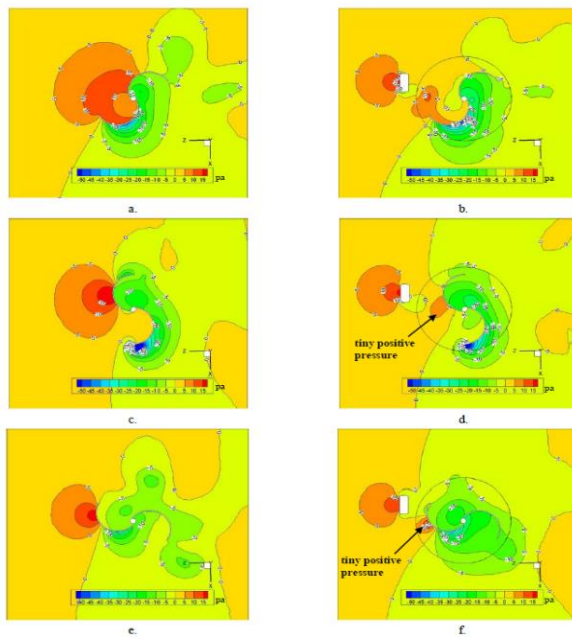


Gambar 2. 40 Grafik perbandingan *Coefficient of Power* (CoP) Turbin Angin Savonius dengan dan tanpa dengan Silinder pengganggu (CoP/CoP_0) Fungsi Jarak pada $S/D = 1,4 - 2,8$ (Fikri, 2019)

Gambar 2.40 menunjukkan grafik perbandingan nilai *performance* turbin angin Savonius dengan pengganggu yang dibandingkan dengan turbin tanpa pengganggu (CoP/CoP_0) pada tiga variasi bilangan Reynolds. Pada grafik dengan bilangan Reynolds $9,6 \times 10^4$ dapat dilihat bahwa grafik memiliki *trendline* terus menurun dari S/D sebesar 1,4 hingga sebesar 2,8. Kenaikan performa tertinggi adalah pada posisi S/D sebesar 1,4 dengan nilai (CoP/CoP_0) sebesar 1,602. Pada S/D sebesar 2,4 hingga 2,8 nilai (CoP/CoP_0) hanya bernilai 1,0. Pada grafik dengan bilangan Reynolds $13,4 \times 10^4$ dapat dilihat bahwa *trendline* grafik naik hingga S/D sebesar 1,6 dan kemudian turun hingga S/D sebesar 2,8. Kenaikan performa tertinggi adalah pada posisi S/D sebesar 1,6 dengan nilai (CoP/CoP_0) sebesar 1,113. Pada S/D sebesar 2,4 hingga 2,8 perbandingan nilai (CoP/CoP_0) bernilai 1,0. Pada grafik dengan bilangan Reynolds $17,3 \times 10^4$ dapat dilihat bahwa bahwa

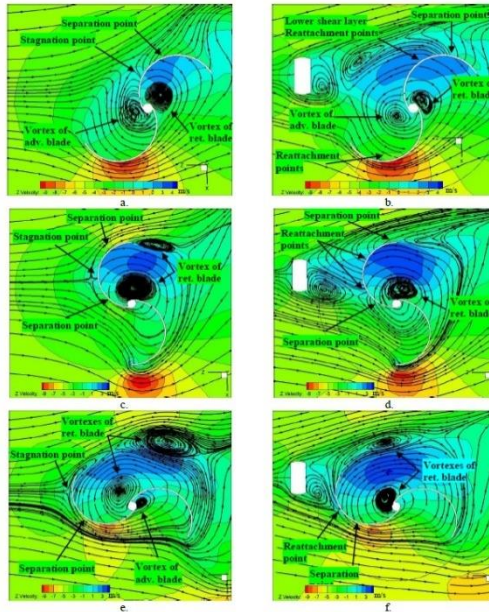
grafik memiliki *trendline* naik hingga S/D sebesar 1,5 dan kemudian turun hingga S/D sebesar 2,8. Kenaikan performa tertinggi adalah pada posisi S/D sebesar 1,5 dengan nilai (CoP/CoP₀) sebesar 1,151. Pada S/D sebesar 2,2 hingga 2,8 perbandingan nilai (CoP/CoP₀) bernilai 1,0.

2.9.5 Penelitian Peningkatan Performa Turbin Angin Savonius dengan Silinder Perganggu Tipe I-65° di Depan *Returning Blade*.



Gambar 2. 41 Kontur tekanan statis turbin konvensional dan turbin dengan silinder pengganggu I-65° pada $TSR \lambda=0,8$, $Re = 9,9 \times 10^4$, dan $S/D = 1,4$. a) 30° turbin konvensional, b) 30° turbin dengan silinder I-65°, c) 90° turbin konvensional, d) 90° turbin dengan silinder I-65°, e) 150° turbin konvensional, f) 150° turbin dengan silinder I-65° (Gunawan,2019)

Penelitian dilakukan oleh **Gunawan Sakti, et. all (2019)** tentang tentang studi eksperimen dan numerik peningkatan performa turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu di depan *Returning Blade* menggunakan *software ANSYS-fluent 19.1*. Penelitian dilakukan menggunakan dan tanpa menggunakan silinder I-65°, pada bilangan *Reynolds* sebesar $9,9 \times 10^4$, rasio diameter silinder pengganggu dengan diameter sudu turbin (d/D) adalah 0,5, peletakan silinder pengganggu pada jarak 1,4D.



Gambar 2. 42 Kontur kecepatan turbin konvensional dan turbin dengan silinder pengganggu I-65° pada $TSR \lambda=0,8$, $Re = 9,9 \times 10^4$, dan $S/D = 1,4$. a) 30° turbin konvensional, b) 30° turbin dengan silinder I-65°, c) 90° turbin konvensional, d) 90° turbin dengan silinder I-65°, e) 150° turbin konvensional, f) 150° turbin dengan silinder I-65° (Gunawan,2019)

Gambar 2.41 menunjukkan hasil numerik berupa kontur tekanan pada turbin konvensional dan turbin dengan silinder pengganggu I-65° pada posisi turbin 30°, 90°, dan 150°. Gambar 2.41a menunjukkan turbin konvensional pada sudut 30°, di mana tekanan positif berkisar +10 Pa berada pada seluruh bagian cekung *advancing blade* serta sebagian pada bagian cembung *returning blade*. Tekanan negatif muncul pada seluruh bagian cembung *advancing blade* dan seluruh bagian cekung *returning blade*, dengan nilai tekanan minimum pada 40 Pa. Ketika silinder pengganggu diletakkan seperti pada gambar 2.41b, tekanan pada bagian cekung *advancing blade* serta pada bagian cembung *returning blade* turun hingga berkisar +5 Pa. Bagian belakang kedua sudu turbin tidak terjadi perubahan tekanan akibat silinder pengganggu, sehingga *pressure drag* pada *returning blade* berkurang dan torsi positif yang dihasilkan turbin meningkat. Gambar 2.41c dan 2.41d menunjukkan turbin pada posisi 90°. Pada kondisi pengganggu diletakkan, distribusi tekanan pada bagian cembung *returning blade* berkurang, *pressure drag* pada *returning blade* berkurang, dan performa turbin meningkat. Gambar 2.41e dan 2.41f menunjukkan kedua turbin pada posisi 150°. Peletakkan silinder pengganggu pada posisi ini, tidak begitu berdampak signifikan dibandingkan pada posisi turbin $0^\circ < \theta < 150^\circ$ dikarenakan adanya peningkatan tekanan positif pada bagian cembung *returning blade*.

Gambar 2.42 menunjukkan kontur kecepatan turbin konvensional dan turbin dengan silinder pengganggu I-65° pada beberapa posisi sudut turbin. Kontur kecepatan ini dihasilkan pada bilangan Reynolds $9,9 \times 10^4$ dan *Tip Speed Ratio* 0,8. Gambar 2.42a menunjukkan karakteristi aliran turbin konvensional pada sudut 30°, di mana titik stagnasi berada pada suatu titik spesifik di permukaan cembung *returning blade*. Terjadi peningkatan *vortex* di sekitar poros pada *returning* dan *advancing blade*. Gambar 2.42b menunjukkan silinder pengganggu I-65° menghasilkan *shear layer* pada bagian atas

dan bawah. *Shear layer* pada bagian bawah tersambung lagi pada suatu titik spesifik pada *returning blade* dan hal ini menyebabkan titik stagnasi pada turbin berpindah. Perpindahan ini memperlambat terjadinya titik separasi sehingga *wake* yang terbentuk di belakang *returning blade* menyempit. Hal ini mengurangi *pressure drag* pada *returning blade* dan meningkatkan torsi yang dihasilkan turbin. Gambar 2.42c menunjukkan aliran karakteristik turbin pada sudut 90° , di mana titik stagnasi berada hampir di tengah bagian cembung *returning blade*. Titik separasi berada dekat dengan titik stagnasi. Pada gambar 2.42d, *shear layer* di bagian bawah tersambung kembali dan terseparasi pada bagian cembung *returning blade*, semakin dekat dengan poros turbin. Hal yang sama juga terjadi pada *shear layer* bagian atas. Pergeseran titik separasi yang terjadi menyempitkan *wake* di belakang *returning blade*, menurunkan *pressure drag* pada *returning blade*, dan meningkatkan torsi yang dihasilkan turbin. Peningkatan torsi turbin pada sudut 90° tidak sebesar peningkatan torsi turbin pada sudut 30° karena adanya perbedaan jumlah titik separasi yang berada pada bagian cembung *returning blade*.

Gambar 2.42e dan gambar 2.42f menunjukkan turbin pada sudut 150° , di mana aliran udara tidak begitu berbeda dibandingkan pada sudut sebelumnya. Peletakkan silinder pengganggu I- 65° menghasilkan dua *shear layer*. *Shear layer* pada bagian bawah tersambung kembali pada bagian cembung *returning blade* dan menunda titik separasi. Hal ini menyempitkan *wake* yang terbentuk di belakang *returning blade*, mengurangi *pressure drag* pada *returning blade*, dan meningkatkan performa turbin. Dibandingkan dengan sudut – sudut turbin sebelumnya, posisi turbin pada sudut 150° ini menghasilkan torsi turbin terendah karena ada beberapa titik pada *advancing blade* yang terpengaruhi oleh *wake* dari silingger pengganggu I- 65° dan *pressure drag* pada *returning*

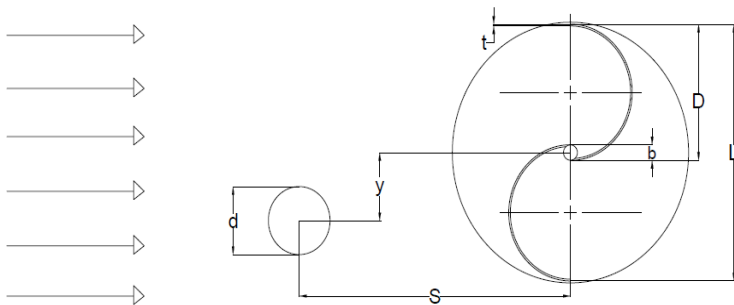
blade meningkatkan sebagai efek dari aliran yang tersambung kembali.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Parameter yang Diukur

Parameter – parameter yang terdapat pada penelitian ini antara lain kecepatan fluida (V), densitas fluida (ρ), diameter turbin Savonius (D), viskositas fluida (π), diameter silinder pengganggu (d), diameter poros (b), jarak titik pusat silinder penghalang terhadap proyeksi titik pusat turbin angin Savonius (y), kecepatan putar sudu turbin angin Savonius (ω), jarak antara proyeksi titik pusat turbin Savonius sejajar terhadap proyeksi titik pusat silinder penghalang, dan jarak titik pusat silinder penghalang terhadap sisi tengah *returning blade* turbin Savonius (S). Parameter – parameter pengujian dan skema penelitian dapat dilihat pada gambar berikut,



Gambar 3. 1 Skema Penelitian Turbin Angin Savonius
Tampak Atas dan Tampak Samping

Pengukuran dilakukan pada:

$$(d/D) = 0,5$$

$$(y/D) = 0,5$$

$$(S/D) = 2,2$$

Dimana:

S = jarak titik pusat silinder penghalan terhadap sisi tengah *returning blade* turbin Savonius (m)

D = diameter sudu turbin Savonius (m)

d = diameter silinder pengganggu (m)

b = diameter poros (m)

y = jarak titik pusat silinder pengganggu terhadap proyeksi titik pusat turbin angin Savonius (m)

ω = putaran sudu turbin angin Savonius (rad/s)

V = kecepatan aliran udara (m/s)

ρ = massa jenis udara (kg/m^3)

μ = viskositas udara (N.s/m^2)

Tabel 3. 1 Parameter yang tetap dan Parameter yang divariasikan

Parameter tetap	Parameter divariasikan
$d/D = 0,5$	$V = 3,8 \text{ m/s}, 4,4\text{m/s}, 5 \text{ m/s}, 6 \text{ m/s}, 7 \text{ m/s}, 8 \text{ m/s}, 9 \text{ m/s}$
$y/D = 0,5$	
$S/D = 0,5$	

3.2 Analisa Dimensi

Analisa dimensi dilakukan untuk mengetahui apa saja yang mempengaruhi karakteristik aliran yang melewati turbin angin Savonius dengan pengganggu berupa silinder sirkular yang memiliki diameter tertentu. Metode analisa yang digunakan adalah Teoream Phi Buckingham.

3.2.1 Analisa Dimensi untuk *Coefficient of Power*

Metodologi penentuan analisa dimensi yaitu sebagai berikut:

1. Menentukan parameter – parameter yang mempengaruhi *power*

$$P = f(\rho, \mu, V, D, d, S, H, b, \omega, y)$$
 Jumlah parameter (n) adalah sebanyak 11 parameter
 Parameter – parameter tersebut adalah:
 P = Power (J/s)
 ρ = Massa jenis udara (kg/m^3)
 μ = viskositas udara (Ns/m^2)
 V = Kecepatan aliran (m/s)
 D = Diameter sudu turbin angin Savonius (m)
 d = Diameter silinder pengganggu (m)
 S = Jarak antara pusat silinder pengganggu dengan pusat *returnin blade*
 H =Tinggi turbin angin Savonius (m)
 b = Diameter poros (m)
 ω = Putaran sudu turbin angin Savonius (rad/s)
 y = jarak titik pusat silinder pengganggu terhadap proyeksi titik pusat turbin angin Savonius (m)
2. Menentukan satu grup dimensi primer yang digunakan dalam menganalisis.
 Dimensi yang dipilih adalah M, L, dan t
3. Membuat dimensi primer dari parameter – parameter yang dipilih

Parameter	P	ρ	μ	V	D	b	S	d	ω	y	H
Dimensi	$\frac{ML^2}{t^3}$	$\frac{M}{L^3}$	$\frac{M}{Lt}$	$\frac{L}{t}$	L	L	L	L	$\frac{1}{t}$	L	L

4. Memilih parameter berulang yang jumlahnya (m) sama dengan jumlah dimensi primer (r) yang digunakan.

Parameter yang dipilih adalah ρ , V, D.

Jumlah parameter berulang (m) sama dengan jumlah dimensi primer yaitu tiga

5. Menentukan grup tanpa dimensi yang akan dihasilkan.

Grup tanpa dimensi yang akan dihasilkan adalah $n-m = 11 - 3 = 8$

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

$$= (M^0 L^0 t^0)$$

di mana:

$$M : a+1 = 0$$

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

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

diperoleh:

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

sehingga:

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

Atau

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

- ii. Dengan cara yang sama, diperoleh:

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

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

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

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

$$\pi_6 = \frac{\omega D}{V}$$

$$\pi_7 = \frac{y}{D}$$

$$\pi_8 = \frac{H}{D}$$

Dari analisis dimensi tersebut diperoleh grup tidak berdimensi sebagai berikut:

$\pi_1 =$ *Coefficient of Power*

$\pi_2 =$ bilangan Reynolds

$\pi_3 =$ perbandingan diameter silinder pengganggu dengan diameter turbin angin Savonius

$\pi_4 =$ perbandingan jarak antara pusat *returning blade* dengan silinder pengganggu

$\pi_5 =$ perbandingan diameter poros dengan diameter turbin angin Savonius

$\pi_6 =$ *Tip Speed Ratio*

$\pi_7 =$ perbandingan jarak titik pusat silinder pengganggu terhadap proyeksi titik pusat turbin angin Savonius dengan diameter sudu turbin angin Savonius

$\pi_8 =$ Perbandingan tinggi turbin angin Savonius dengan diameter sudu turbin angin Savonius

Hubungan antara grup tidak berdimensi adalah sebagai berikut:

$$\pi_1 = f(\pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6, \pi_7, \pi_8)$$

$$\frac{P}{\rho V^3 D^2} = f_1\left(\frac{\mu}{\rho V D}, \frac{d}{D}, \frac{S}{D}, \frac{b}{D}, \frac{\omega D}{V}, \frac{y}{D}, \frac{H}{D}\right)$$

Pada penelitian ini variabel $\frac{d}{D}, \frac{b}{D}, \frac{H}{D}$ ditetapkan sebagai variabel tetap, sedangkan variabel $\frac{\omega D}{V}, \frac{\mu}{\rho V D}$ divariasikan agar

dapat mengetahui seberapa besar pengaruhnya terhadap *Coefficient of Power* pada turbin angin Savonius sehingga

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

Berdasarkan persamaan 2.3 pada bab dua dengan nilai b konstan, maka nilai D sebanding dengan nilai L sehingga didapatkan:

$$\frac{P}{\rho V^3 L^2} = f_3\left(\frac{\omega L}{V}, \frac{\mu}{\rho V L}\right)$$

atau

$$C_{op} = f_4(TSR, Re)$$

3.2.2 Analisa Dimensi untuk *Coefficient of Moment*

Metodologi penentuan analisa dimensi adalah sebagai berikut:

1. Menentukan parameter – parameter yang mempengaruhi *Moment*

$$Moment = f(\rho, \mu, V, D, d, S, b, \omega, y, H)$$

Jumlah parameter (n) adalah sebelas parameter

Parameter – parameter tersebut adalah:

M = *Moment* (J)

ρ = Massa jenis udara (kg/m^3)

μ = Viskositas udara (N.s/m^2)

V = Kecepatan aliran (m/s)

D = Diameter sudu turbin angin Savonius (m)

d = Diameter silinder pengganggu (m)

S = Jarak antara pusat silinder pengganggu dengan pusat *returning blade*

b = Diameter poros (m)

ω = Putaran sudu turbin angin Savonius (rad/s)

y = Jarak titik pusat silinder pengganggu terhadap proyeksi titik pusat turbin angin Savonius

H = Tinggi turbin angin Savonius (m)

2. Menentukan satu grup dimensi primer yang digunakan dalam menganalisis
Dimensi primer yang digunakan adalah M, L, dan t
3. Membuat dimensi primer dari parameter – parameter yang dipilih

Parameter	M	ρ	μ	V	D	d	S	b	ω	y	H
Dimensi	$\frac{ML^2}{t^2}$	$\frac{M}{L^3}$	$\frac{M}{Lt}$	$\frac{L}{t}$	L	L	L	L	$\frac{1}{t}$	L	L

4. Memilih parameter berulang yang jumlahnya (m) sama dengan jumlah dimensi primer (r) yang digunakan, yaitu: ρ , V, D. Jumlah parameter berulang (m) adalah tiga
5. Menentukan grup tanpa dimensi yang akan dihasilkan. Jumlah grup tanpa dimensi yang akan dihasilkan adalah $n-m = 11-3 = 8$ grup.

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

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

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

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

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

$$\pi_6 = \frac{\omega D}{V}$$

$$\pi_7 = \frac{y}{D}$$

$$\pi_8 = \frac{H}{D}$$

Dari analisis dimensi tersebut diperoleh grup tidak berdimensi sebagai berikut:

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

$$\pi_2 = \text{bilangan Reynolds}$$

π_3 = perbandingan diameter silinder pengganggu dengan diameter turbin angin Savonius

π_4 = perbandingan jarak antara pusat *returning blade* dengan silinder pengganggu

π_5 = perbandingan diameter poros dengan diameter turbin angin Savonius

π_6 = *Tip Speed Ratio*

π_7 = perbandingan jarak titik pusat silinder pengganggu terhadap proyeksi titik pusat turbin angin Savonius dengan diameter sudu turbin angin Savonius

π_8 = Perbandingan tinggi turbin angin Savonius dengan diameter sudu turbin angin Savonius

Hubungan antara grup tidak berdimensi adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \pi_1 &= f(\pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6, \pi_7, \pi_8) \\ \frac{P}{\rho V^3 D^2} &= f_1\left(\frac{\mu}{\rho V D}, \frac{d}{D}, \frac{S}{D}, \frac{b}{D}, \frac{\omega D}{V}, \frac{y}{D}, \frac{H}{D}\right) \end{aligned}$$

Pada penelitian ini variabel $\frac{d}{D}$, $\frac{b}{D}$, $\frac{H}{D}$ ditetapkan sebagai variabel tetap, sedangkan variabel $\frac{\omega D}{V}$, $\frac{\mu}{\rho V D}$ divariasikan agar dapat mengetahui seberapa besar pengaruhnya terhadap *Coefficient of Moment* pada turbin angin Savonius sehingga:

$$\frac{M}{\rho V^2 D^3} = f_2\left(\frac{\omega D}{V}, \frac{\mu}{\rho V D}\right)$$

Berdasarkan persamaan 2.3 pada bab dua dengan nilai b konstan, maka nilai D sebanding dengan nilai L, sehingga didapatkan:

$$\frac{M}{\rho V^2 L^3} = f_3\left(\frac{\omega L}{V}, \frac{\mu}{\rho V L}\right)$$

atau

$$C_M = f_4(TSR, Re)$$

3.3 Peralatan

Eksperimen ini membutuhkan peralatan yang dapat menunjang berjalannya eksperimen dengan baik. Berikut merupakan peralatan yang digunakan pada eksperimen ini:

3.3.1 Axial Fan

Axial fan pada penelitian ini digunakan sebagai sumber aliran udara. Kecepatan angin yang dihasilkan akan digunakan untuk pengujian performa turbin angin Savonius. *Axial fan* yang digunakan adalah tipe **CKE SPV-18**. Spesifikasi *axial fan* dapat dilihat pada tabel 3.1

Tabel 3. 2 *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



Gambar 3. 2 Axial fan CKE SPV-18

3.3.2 Benda Uji

Penelitian ini menggunakan turbin angin Savonius dan silinder pengganggu. Berikut merupakan spesifikasi turbin angin Savonius yang digunakan:

- Diameter sudu turbin (D) = 167 mm
- Tinggi (H) = 298 mm
- Diameter poros (b) = 19 mm
- Diameter *end plate* (D_o) = 320 mm
- Tebal *end plate* = 1 mm
- Tebal sudu = 3 mm



Gambar 3. 3 Turbin Angin Savonius

Berikut merupakan spesifikasi silinder pengganggu yang digunakan pada penelitian ini:

- Diameter (D_0) : 83,5 mm
- Perbandingan titik tengah silinder pengganggu tegak lurus dengan proyeksi titik tengah turbin angin Savonius (y/D) : 0,5
- Perbandingan diameter silinder pengganggu terhadap diameter turbin angin Savonius (d/D) : 0,5
- Perbandingan jarak antara pusat turbin angin Savonius dengan pusat silinder pengganggu terhadap diameter sudu turbin angin Savonius (S/D) : 2,2;



Gambar 3. 4 Silinder pengganggu

3.3.3 Penyangga Turbin Angin Savonius

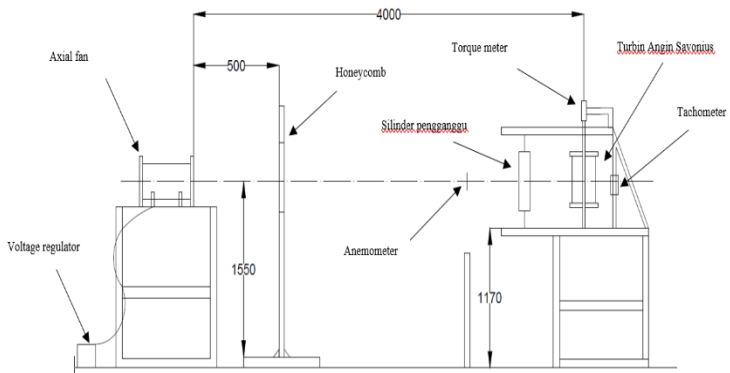
Pada penelitian ini digunakan sebuah penyangga yang digunakan sebagai tempat peletakkan turbin angin Savonius dan juga plat penghalang. Skema penyangga turbin dapat dilihat pada gambar berikut,



(a)



(b)

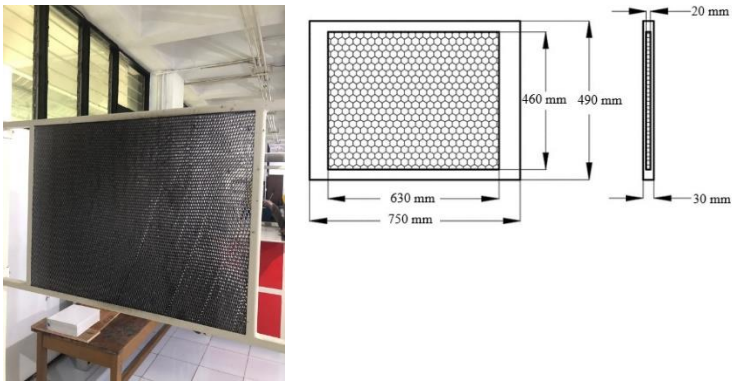


(c)

Gambar 3. 5 Instalasi Peralatan Penelitian (a) tampak depan, (b) tampak samping (c) skema

3.3.4 Honeycomb

Honeycomb memiliki fungsi untuk membuat aliran angin yang dihasilkan *axial fan* menuju benda uji menjadi *uniform*. Ukuran *Honeycomb* disesuaikan dengan penelitian yang dilakukan **Bradshaw et al (1979)**. Berikut skema *Honeycomb* dan *cover* dengan ukuran *meshing* sebesar 0,0248 lubang/mm².



Gambar 3. 6 *Honeycomb*

Spesifikasi dari *Honeycomb* yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Panjang sisi *frame* : 750 mm
- Panjang sisi *honeycomb* : 630 mm
- Tinggi *honeycomb* : 460 mm
- Tinggi *frame* : 490 mm
- Tebal *frame* : 30 mm
- Tebal *honeycomb* : 20 mm
- Ukuran *meshing* : 0,0248 lubang/mm²

3.3.5 Alat Ukur

Penelitian ini menggunakan beberapa alat ukur untuk mengetahui nilai torsi (N.m) dan nilai putaran (rpm) yang dihasilkan oleh turbin angin Savonius. Berikut adalah alat – alat ukur yang digunakan pada penelitian:

a. Tachometer

Tachometer adalah alat ukur digital yang digunakan untuk mengukur kecepatan rotasi dari sebuah objek berputar. Tachometer yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe *Economical Non-contact Pocket Optical Tachometer OMEGA seri HHTI2* dengan spesifikasi pada tabel 3.2 berikut,

Tabel 3. 3 Spesifikasi Tachometer OMEGA seri HHTI2

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” 1,5V dc batteries
Environmental	5 to 40°C



Gambar 3.7 Tachometer OMEGA seri HHTI2

b. Anemometer

Anemometer merupakan alat untuk mengukur kecepatan angin. Anemometer yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe **Omega HHF141 Digital Anemometer** yang bisa dilihat pada gambar. Pengukuran dapat dilakukan dalam beberapa satuan pengukuran, yaitu ft/min, mph, knoCt, m/s, dan km/h. Selain itu, alat ini dapat mengukur suhu udara dalam satuan °F dan °C. Spesifikasi alat ini dapat dilihat pada tabel 3.3 berikut,

Tabel 3. 4 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 digiCt
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°C to 50°C
Probes	-20°C to 100 C

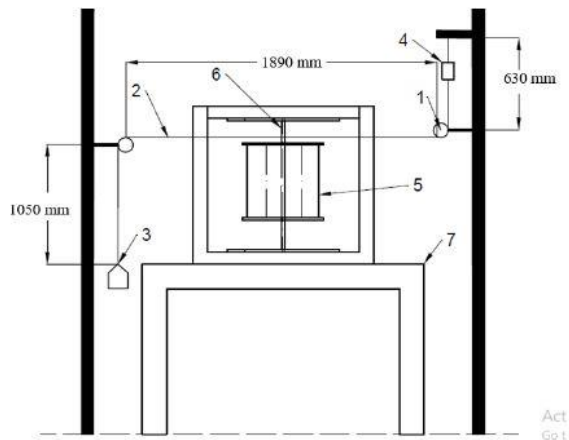
...



Gambar 3.8 Anemometer

c. Brake dynamometer

Brake dynamometer merupakan alat ukur yang berfungsi untuk mengukur torsi dinamis. Nilai torsi dinamis tidak didapatkan secara langsung, namun harus melalui perhitungan selisih massa pemberat dan nilai yang dibaca oleh neraca pegas. Berikut adalah skema *free body diagram* dari *brake dynamometer*.



Gambar 3. 9 Skema susunan alat dengan *brake dynamometer*

di mana:

1. Pulley
2. Benang
3. Massa pemberat
4. Neraca pegas
5. Turbin angin Savonius
6. Disk
7. Meja penyangga

d. Torque Meter

Torque meter merupakan alat ukur digital yang berfungsi untuk mengukur *Coefficient of Static Torque* yang dialami suatu poros. *Torque meter* yang digunakan pada penelitian ini adalah **Torque meter LUTRON model: TQ-8800** dengan *high resolution* 0,1 Newton-cm

Tabel 3. 5 Spesifikasi Torque meter LUTRON model 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



Gambar 3.10 *Torque meter* LUTRON model TQ-8800

e. Voltage Regulator

Penelitian ini menggunakan *voltage regulator* untuk mengatur besar keluaran tegangan yang dibutuhkan saat penelitian. *Voltage regulator* yang digunakan pada penelitian ini adalah ***Voltage Regulator Model TDGC 2J-3***. Spesifikasi *voltage regulator* yang digunakan pada penelitian dapat dilihat pada tabel 3.5 berikut:



Gambar 3. 11 *Voltage regulator*

Tabel 3. 6 Spesifikasi Voltage Regulator Model TDGC 2J-3

SPECIFICATIONS	
Model	TDGC 2J-3
Input	110/220 V
Output	0 – 250 V
Frequency	50 – 60 Hz
I Max	4,8/12 A
Cap.	2 KVA

f. Neraca pegas

Neraca pegas memiliki fungsi untuk mengetahui nilai S (gram) yang digunakan untuk mendapatkan nilai torsi dinamis pada *brake dynamometer*. Spesifikasi neraca pegas yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.6 berikut ini,



Gambar 3. 12 Neraca Pegas

Tabel 3. 7 Spesifikasi neraca pegas

Merk	Nagata
Kapasitas maksimal	3 kg
Ketelitian	10 gram

g. Massa Pemberat

Pemberat digunakan untuk mendapatkan nilai torsi dinamis dan variasi TSR pada *brake dynamometer*. Nilai massa pemberat bervariasi dari tiga hingga dua puluh gram.



Gambar 3. 13 Massa pemberat

3.4 Langkah Pengukuran

Langkah – langkah penelitian dibahas pada sub bab prosedur penelitian dan *flowchart* penelitian. Berikut merupakan penjelasannya:

3.4.1 Prosedur Menentukan Putaran dan Torsi Dinamis

Prosedur yang dilakukan untuk mendapatkan nilai putaran dan torsi dinamis adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan peralatan yang akan digunakan
2. Memasang turbin angin Savonius pada *test section* di depan *axial fan* seperti pada gambar 3.6
3. Melakukan pengukuran temperatur dengan menggunakan Termometer
4. Menyalakan *axial fan* dan mengatur besar tegangan yang digunakan dengan menggunakan *voltage regulator* hingga didapatkan nilai kecepatan angin yang dibutuhkan
5. Mengukur kecepatan angin hingga bernilai 3,8 m/s menggunakan Anemometer
6. Mengukur putaran poros turbin angin tanpa beban dan tanpa pengganggu dengan menggunakan Tachometer setelah kecepatan angin sudah *steady*
7. Mengukur torsi dinamis menggunakan *brake dynamometer*
8. Menambahkan massa pemberat 20 gram
9. Mengukur kecepatan putar poros dengan Tachometer
10. Mengukur nilai massa yang terbaca pada neraca pegas untuk mendapatkan nilai torsi dinamis
11. Mengulangi langkah delapan sampai langkah sepuluh hingga turbin angin Savonius berhenti berputar
12. Mengulangi langkah lima hingga langkah sebelas dengan variasi kecepatan angin senilai 4,4 m/s, 5 m/s, 6 m/s, 7 m/s, 8 m/s, 9 m/s
13. Meletakkan silinder pengganggu dengan perbandingan jarak antara pusat turbin angin Savonius dengan pusat silinder pengganggu terhadap diameter sudu turbin (S/D) sebesar

2,2; perbandingan jarak titik tengah silinder pengganggu dengan proyeksi titik tengah turbin angin Savonius terhadap diameter diameter sudu turbin (y/D) sebesar 0,5

14. Mematikan *axial fan*
15. Mengolah data putaran dan torsi dinamis dan melakukan pembuatan grafik putaran (n) sebagai fungsi *tip speed ratio* dan fungsi bilangan Reynolds, pembuatan grafik *Coefficient of Power (CoP)* dan *Coefficient of Moment (C_M)* sebagai fungsi *tip speed ratio*.

3.4.2 Prosedur Menentukan Putaran dan Torsi Dinamis

Prosedur yang dilakukan untuk melakukan pengambilan data torsi dinamis pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan peralatan yang akan digunakan
2. Memasang turbin angin Savonius pada *test section* di depan *axial fan* seperti pada gambar 3.6
3. Menentukan variasi sudut turbin angin Savonius (θ) sebesar 0°
4. Menyalakan *axial fan* dan mengatur besar tegangan yang digunakan dengan menggunakan *voltage regulator* hingga didapatkan nilai kecepatan angin yang dibutuhkan
5. Mengukur kecepatan angin hingga bernilai 3,8 m/s menggunakan Anemometer
6. Melakukan pengukuran *Coefficient of Static Torque* tanpa silinde

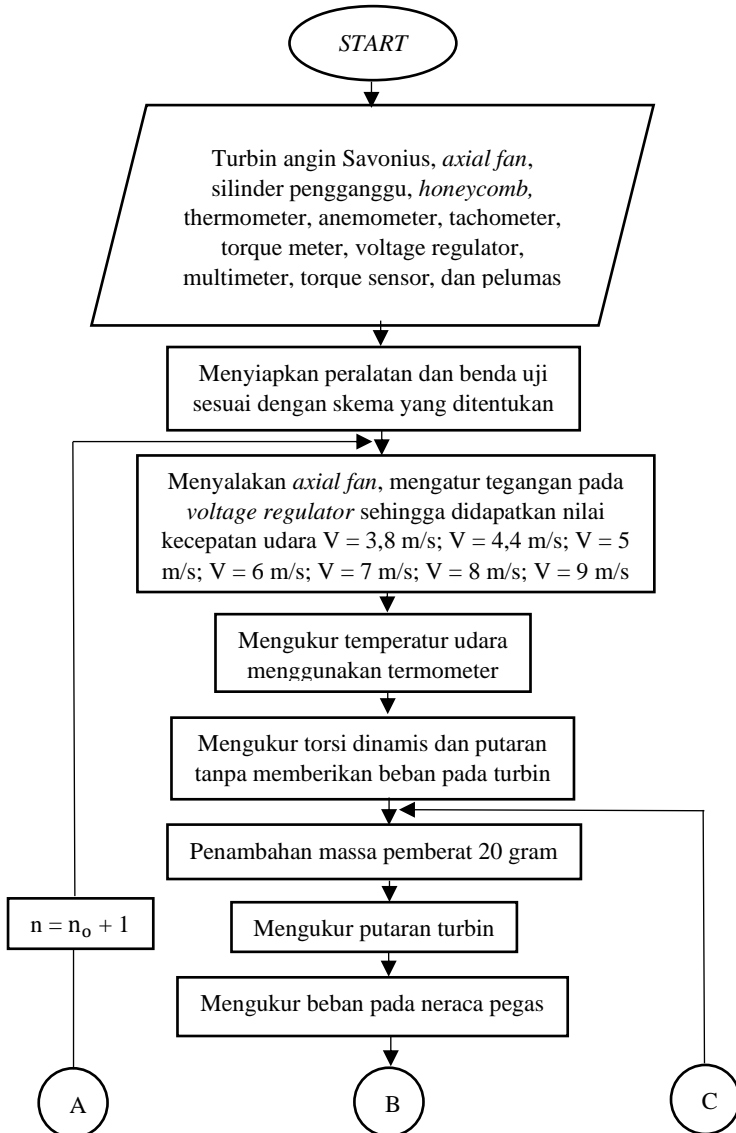
pengganggu menggunakan *torque meter*

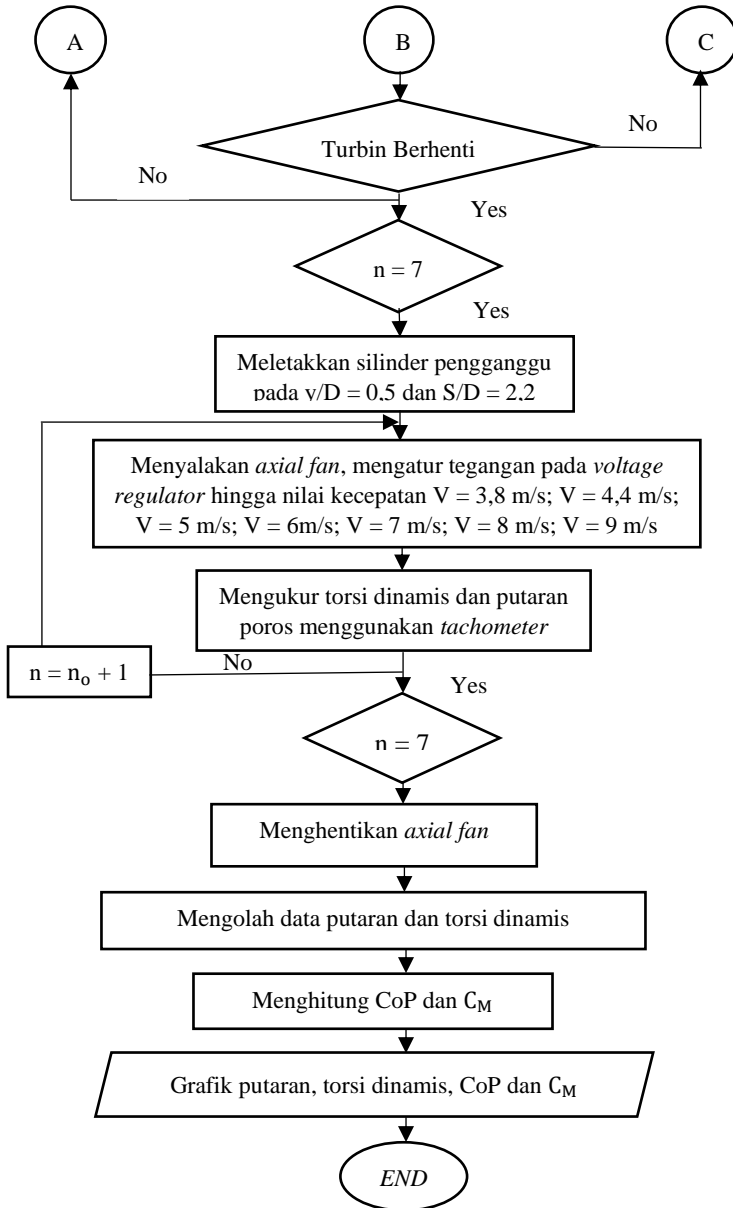
7. Mematikan *axial fan*
8. Mengulangi langkah tiga hingga langkah tujuh dengan variasi sudut turbin angin Savonius (θ) sebesar $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ dengan kenaikan 10° setiap pengamatan
9. Mengulangi langkah tiga hingga langkah delapan dengan variasi kecepatan senilai 4,4 m/s, 5 m/s, 6 m/s, 7 m/s, 8 m/s, 9 m/s
10. Meletakkan silinder pengganggu dengan perbandingan jarak antara pusat turbin angin Savonius dengan pusat silinder pengganggu terhadap diameter sudu turbin (S/D) sebesar 2,2; perbandingan jarak titik tengah silinder pengganggu dengan proyeksi titik tengah turbin angin Savonius terhadap diameter diameter sudu turbin (y/D) sebesar 0,5
11. Menentukan variasi sudut turbin angin Savonius (θ) sebesar 0°
12. Menyalakan *axial fan* dan mengatur besar tegangan yang digunakan dengan menggunakan *voltage regulator* hingga didapatkan nilai kecepatan angin yang dibutuhkan
13. Mengukur kecepatan angin hingga bernilai 3,8 m/s menggunakan Anemometer
14. Melakukan pengukuran *Coefficient of Static Torque* dengan silinder

pengganggu menggunakan *torque meter*

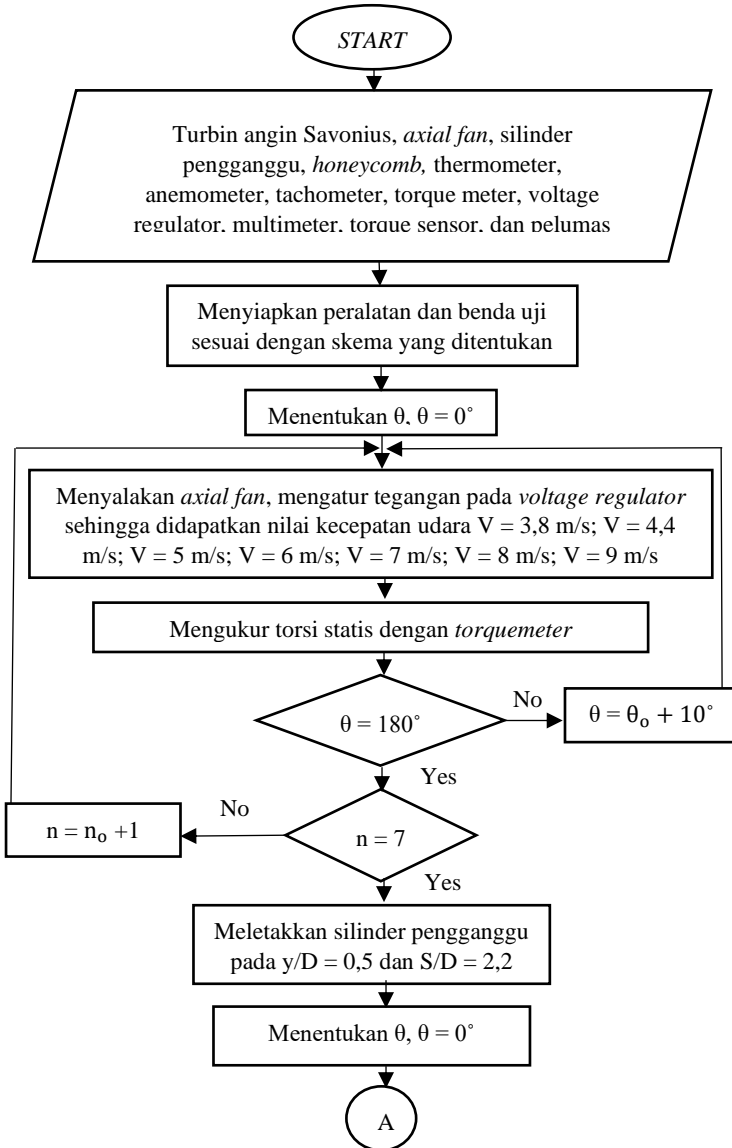
15. Mematikan *axial fan*
16. Mengulangi langkah sebelas hingga langkah lima belas dengan mengubah variasi sudut turbin angin Savonius (θ) sebesar $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ dengan kenaikan 10° setiap pengamatan
17. Mengulangi langkah sebelas hingga langkah enam belas dengan variasi kecepatan senilai 4,4 m/s, 5 m/s, 6 m/s, 7 m/s, 8 m/s, 9 m/s
18. Mengolah data *Coefficient of Static Torque* dan melakukan pembuatan grafik *Coefficient of Static Torque* (T_s) dan *Coefficient of Static Torque* tanpa silinder pengganggu (T_{50}) sebagai fungsi sudut (θ)

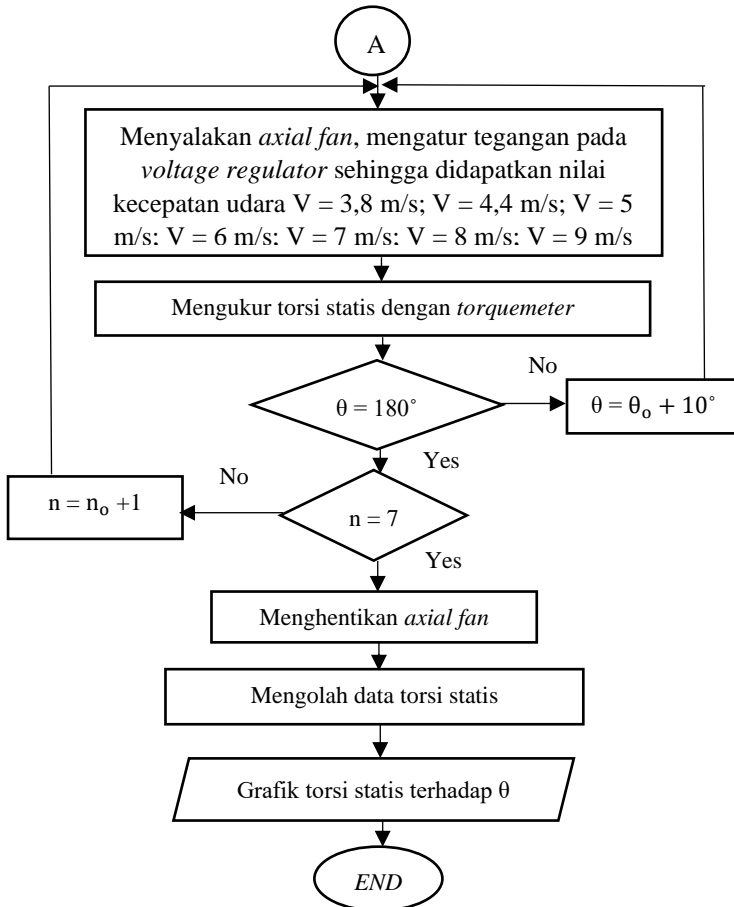
3.4.3 Flowchart Penelitian Menentukan Putaran dan Torsi Dinamis





3.4.4 Flowchart Penelitian Menentukan Torsi Statis





3.5 Perhitungan Uncertainty Pengukuran

Pada penelitian ini dilakukan perhitungan *uncertainty* untuk mengetahui ukuran ketidakpastian suatu pengukuran dalam eksperimen. Dalam penelitian ini, perhitungan *uncertainty* dilakukan pada data titik maksimum *coefficient of power* turbin tanpa silinder pengganggu pada kecepatan angin 5 m/s. Berikut merupakan contoh perhitungan *uncertainty Tip Speed Ratio (TSR)*, *uncertainty Coefficient of Power (CoP)*, *uncertainty Coefficient of Moment (Cm)*, dan *uncertainty* bilangan Reynolds pada titik maksimum *coefficient of power*.

- *Uncertainty* pada pembacaan *tip speed ratio* (λ)

$$\lambda = \frac{\omega R}{V}$$

$$\lambda = \omega R V^{-1}$$

$$d\lambda = \frac{\partial \lambda}{\partial \omega} + \frac{\partial \lambda}{\partial R} + \frac{\partial \lambda}{\partial V}$$

$$d\lambda = R V^{-1} d\omega + \omega V^{-1} dR + (-V^{-2} \omega R) dV$$

$$u_{\lambda, \omega} = \frac{\delta \lambda \omega}{\lambda} = \frac{\omega}{\lambda} \frac{\partial \lambda}{\partial \omega} u_{\omega} = u_{\omega}$$

$$u_{\lambda, R} = \frac{\delta \lambda R}{\lambda} = \frac{R}{\lambda} \frac{\partial \lambda}{\partial R} u_R = u_R$$

$$u_{\lambda, V} = \frac{\delta \lambda V}{\lambda} = \frac{V}{\lambda} \frac{\partial \lambda}{\partial V} u_V = u_V$$

$$u_{\lambda} = \pm \{ [u_{\omega}]^2 + [u_R]^2 + [-u_V]^2 \}^{\frac{1}{2}}$$

$$u_{\lambda} = \pm \{ u_{\omega}^2 + u_R^2 + u_V^2 \}^{\frac{1}{2}}$$

- *Uncertainty* pada pembacaan putaran poros turbin (ω)

$$u_{\omega} = \pm \frac{0,1}{188} = \pm 5,32 \times 10^{-4}$$

- *Uncertainty* pada pembacaan jari – jari turbin (R)

$$u_R = \pm \frac{1}{154,5} = \pm 6,47 \times 10^{-3}$$

- Uncertainty pada pembacaan kecepatan (V)

$$u_V = \pm \frac{0,01}{5} = \pm 0,002$$

Setelah itu, hasil *uncertainty* ω , R, dan V disubstitusikan ke persamaan 3.1 sehingga didapatkan hasil sebagai berikut,

$$u_\lambda = \pm \{ u_\omega^2 + u_R^2 + (-u_V)^2 \}^{\frac{1}{2}}$$

$$u_\lambda = \pm \{ (5,32 \times 10^{-4})^2 + (6,47 \times 10^{-3})^2 + (0,002)^2 \}^{\frac{1}{2}}$$

$$u_\lambda = \pm 6,8 \times 10^{-3}$$

$$u_\lambda = \pm 0,68\%$$

- *Uncertainty* pada pembacaan *coefficient of moment* (Cm)

$$u_{CM} = \pm \{ u_{Td}^2 + u_\rho^2 + u_V^2 + u_A^2 \}^{\frac{1}{2}}$$

$$u_{CM} = \pm \{ (5,51 \times 10^{-2})^2 + (0,35 \times 10^{-2})^2 + (0,002)^2 + (4,66 \times 10^{-3})^2 \}^{\frac{1}{2}}$$

$$u_{CM} = \pm 55,8 \times 10^{-3} = 5,59\%$$

- *Uncertainty* pada pembacaan *coefficient of power* (CoP)

$$u_{CoP} = \pm \{ [u_{CM}]^2 + [u_\lambda]^2 \}^{\frac{1}{2}}$$

$$u_{CoP} = \pm \{ (55,8 \times 10^{-3})^2 + (6,8 \times 10^{-3})^2 \}^{\frac{1}{2}}$$

$$u_{CoP} = \pm 56,07 \times 10^{-3} = 5,6\%$$

- *Uncertainty* μ

$$U_\mu = \pm \frac{\partial \mu}{\mu} = \frac{1}{\mu} \frac{d\mu}{dT} (\pm \delta T)$$

$$\frac{d\mu}{dT} = \frac{\Delta\mu}{\Delta T} = \frac{\mu(29^\circ\text{C}) - \mu(27^\circ\text{C})}{29^\circ\text{C} - 27^\circ\text{C}} = \frac{(1,86 \times 10^{-5}) - (1,85 \times 10^{-5}) \frac{\text{N.s}}{\text{m}^2}}{2^\circ\text{C}} = 5 \times 10^{-8} \frac{\text{N.s}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$U_\mu = \frac{1}{\mu} \frac{d\mu}{dT} (\pm \delta T) = \frac{1}{1,86 \times 10^{-5} \frac{\text{N.s}}{\text{m}^2}} \times 5 \times 10^{-8} \frac{\text{N.s}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \times (\pm 0,5^\circ\text{C})$$

$$U_\mu = 1,344 \times 10^{-2} = 0.01$$

- *Uncertainty* pada pembacaan bilangan Reynolds (Re)

$$u_{RE} = \pm \left\{ u_p^2 + u_U^2 + u_L^2 + (-u_\mu)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$u_{RE} = \pm \left\{ (0,35 \times 10^{-2})^2 + (0,002)^2 + (3,24 \times 10^{-3})^2 + (-1,344 \times 10^{-2})^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$u_{RE} = \pm 13,99 \times 10^{-3} = 1,39\%$$

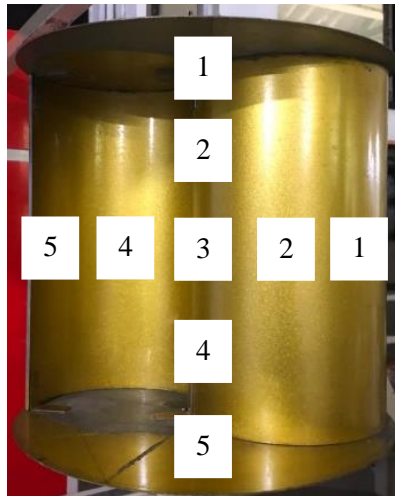
Berikut adalah hasil perhitungan *uncertainty* yang dilakukan pada data titik maksimum *coefficient of power* turbin tanpa silinder pengganggu di kecepatan angin 5 m/s.

Tabel 3. 8 Hasil Perhitungan *uncertainty* pada Titik Maksimum CoP turbin tanpa silinder pengganggu di kecepatan angin 5 m/s

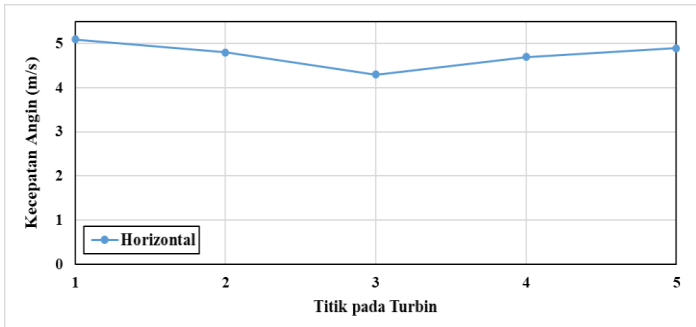
Parameter	<i>Uncertainty</i>
<i>Tip Speed Ratio</i> (λ)	0,68%
<i>Coefficient of Power</i> (CoP)	5,62%
<i>Coefficient of Moment</i> (Cm)	5,59%
Bilangan Reynolds	1,39%

3.6 Uji Uniformity Flow

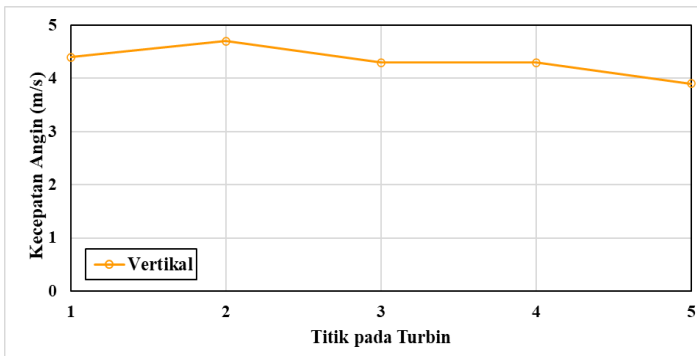
Uji *uniformity* dilakukan untuk melihat keseragaman aliran pada titik – titik tertentu yang ditentukan. Keseragaman aliran dibutuhkan dalam penelitian ini agar hasil yang didapatkan ideal. Uji *uniformity* dilakukan pada sisi *upstream* turbin angin Savonius dengan melakukan pengukuran kecepatan aliran udara pada lima titik horizontal dan lima titik vertikal, pada kecepatan angin 5 m/s. Berikut adalah data hasil uji *uniformity flow*,



Gambar 3. 14 Titik pengujian *Uniformity Flow*



Gambar 3. 16 Grafik Distribusi Kecepatan Horizontal



Gambar 3. 15 Grafik Distribusi Kecepatan Vertikal

3.7 Jadwal Penelitian

Aktivitas	Februari				Maret				April				Mei			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	I
Pembuatan Proposal	■	■	■	■	■	■	■									
Ujian Proposal																
Persiapan Eksperimen	■	■	■	■	■	■										
Eksperimen											■	■	■	■	■	
Pengolahan Data															■	■
Penulisan Tugas Akhir																■
Ujian Tugas Akhir																

Aktivitas	Juni				Juli				Agustus			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Pembuatan Proposal												
Ujian Proposal		■	■									
Persiapan Eksperimen												
Eksperimen	■											
Pengolahan Data	■			■	■	■	■					
Penulisan Tugas Akhir				■	■	■	■					
Ujian Tugas Akhir								■	■			

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Contoh perhitungan

Dari penelitian ini akan didapatkan data berupa nilai kecepatan putar turbin (n), nilai *Coefficient of Static Torque* (C_t), torsi dinamis (T_d), *Coefficient of Power* (CoP), dan *Coefficient of Moment* (CM) turbin angin Savonius tanpa dan dengan silinder pengganggu. Eksperimen dilakukan menggunakan fluida yang diasumsikan *steady* dan beraliran *incompressible* yang memiliki beberapa nilai *properties* sebagai berikut:

1. Tekanan *absolute* udara dalam keadaan standar atmosfer (P_{std}) = $1,01325 \times 10^5 \text{ N/m}^2$
2. Temperatur udara dalam keadaan standar (T_{std}) = $288,2 \text{ K}$
3. Massa jenis udara dalam keadaan standar (ρ_{std}) = $1,225 \text{ kg/m}^3$
4. Temperatur udara ruang kerja (T) = $28,5 \text{ }^\circ\text{C} = 301,5 \text{ K}$

Keempat *properties* tersebut akan digunakan untuk mengolah data – data yang didapatkan dari eksperimen sehingga didapatkan hasil yang dibutuhkan.

4.1.1 Perhitungan Massa Jenis Udara

Dari persamaan pemuaiian gas didapatkan:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (4.1)$$

$V = \frac{m}{\rho}$ sehingga persamaan 4.1 menjadi persamaan berikut:

$$\frac{P_1 m_1}{T_1 \rho_1} = \frac{P_2 m_2}{T_2 \rho_2} \quad (4.2)$$

di mana:

- P_1 = tekanan absolut udara pada keadaan 1 (acuan)
 = $1,01325 \times 10^5 \text{ N/m}^2$
 T_1 = temperatur udara pada keadaan 1 (acuan)
 = 288,2 K
 ρ_1 = massa jenis udara pada keadaan 1 (acuan)
 = $1,225 \text{ kg/m}^3$
 m_1 = massa udara pada keadaan 1 (acuan)
 P_2 = tekanan absolut udara pada keadaan 2 (penelitian)
 T_2 = temperatur udara pada keadaan 2 (penelitian)
 = 301,5 K
 ρ_2 = massa jenis udara pada keadaan 2 (penelitian)
 m_2 = massa udara pada keadaan 2 (penelitian)

Keadaan 1 dan 2 berada pada ketinggian yang sama sehingga $P_1 = P_2$ dan $m_1 = m_2$. Berdasarkan batasan tersebut, maka persamaan 4.2 menjadi:

$$\rho_2 = \frac{T_1 \rho_1}{T_2} \quad (4.3)$$

$$\rho_2 = \frac{288,2 \text{ K} \times 1,225 \text{ kg/m}^3}{301,5 \text{ K}}$$

$$\rho_2 = 1,170 \text{ kg/m}^3$$

4.1.2 Perhitungan Viskositas Udara

Viskositas udara dapat dihitung menggunakan persamaan **Sutherland**, yaitu:

$$\mu = \frac{b T^{3/2}}{S+T} \quad (4.4)$$

di mana:

$$b = 1,458 \times 10^{-6} \frac{kg}{m.s.K^{1/2}}$$

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

$$T = \text{temperatur ruang kerja} = 301,5 \text{ K}$$

Nilai – nilai tersebut dimasukkan ke persamaan 4.4 sehingga didapatkan:

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{1,458 \times 10^{-6} \frac{kg}{m.s.K^{1/2}} (301,5 \text{ K})^{3/2}}{110,4 \text{ K} + 301,5 \text{ K}} \\ &= 1,86 \times 10^{-5} \frac{kg}{m.s} \end{aligned}$$

4.1.3 Perhitungan Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds dihitung berdasarkan persamaan (2.2) sebagai berikut:

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu}$$

di mana:

$$V = \text{Kecepatan angin} = 5 \text{ m/s}$$

$$L = \text{Panjang karakteristik}$$

$$= 2D - b - 2t = (2 \times 167 \text{ mm}) - 19.56 \text{ mm} - (2 \times 3 \text{ mm})$$

$$= 309 \text{ mm} = 0.309 \text{ m}$$

sehingga didapatkan:

$$Re = \frac{\left(1,170 \frac{kg}{m^3}\right) (5 \text{ m/s}) (0.309 \text{ m})}{1,86 \times 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s}}$$

$$Re = 97265$$

Nilai kecepatan angin dan bilangan Reynoldsnya ditunjukkan pada tabel berikut ini:

Tabel 4. 1 Kecepatan angin dan Bilangan Reynolds

Kecepatan Angin (m/s)	Bilangan Reynolds
3.8	71.976
4.4	85.594
5	97.265
6	116.718
7	136.172
8	155.625
9	175.078

4.1.4 Perhitungan Tip Speed Ratio

Contoh perhitungan dilakukan menggunakan data turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu pada kecepatan angin 5 m/s saat pembebanan pertama. *Tip Speed Ratio* dihitung menggunakan persamaan 2.9 dan persamaan 2.14 sebagai berikut:

$$\omega = \frac{2\pi N}{60}$$

$$\lambda = \frac{\omega R}{V}$$

$$\lambda = \frac{\frac{2\pi n}{60} R}{V}$$

di mana:

n = kecepatan putar poros (rpm)

R = Jari – jari turbin (m) = $\frac{L}{2} = \frac{0.309 \text{ m}}{2} = 0.154 \text{ m}$

V = Kecepatan angin (m/s) = 5 m/s

Didapatkan nilai λ :

$$\lambda = \frac{(2\pi)(237)}{60} \frac{0.154 \text{ m}}{5 \text{ m/s}} = 0.769$$

4.1.5 Perhitungan Coefficient of Power

Coefficient of Power (CoP) turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu pada pembebanan pertama, pada kecepatan angin 5 m/s dapat dihitung menggunakan persamaan 2.13 sebagai berikut:

$$C_{op} = \frac{g r \pi n |m-s|}{15 \rho A v^3}$$

di mana:

A = Luas permukaan turbin yang tegak lurus dengan arah datangnya angin (m^2)

$$= L \times H = 0,309 \text{ m} \times 0,298 \text{ m} = 0.092 \text{ m}$$

r = Jari – jari silinder yang menerima beban = 0.00978 m

m = massa yang ditanggung oleh poros = 0.019 Kg

s = Pembacaan keseimbangan pegas = 0.080 Kg

Didapatkan nilai CoP:

$$C_{op} = \frac{\left(9,81 \frac{m}{s}\right) (0.00978 m) (\pi) (237) |0.019 Kg - 0.080 Kg|}{(15)(1,170 \frac{kg}{m^3}) (0.092 m) (5 m/s)^3}$$

$$C_{op} = 0.0281$$

4.1.6 Perhitungan Coefficient of Moment

Coefficient of Moment (C_M) turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu pada pembebanan pertama, pada kecepatan angin 5 m/s, dapat dihitung menggunakan persamaan 2.14 berikut ini:

$$C_M = \frac{C_{op}}{\lambda}$$

di mana:

$$C_{op} = \text{Coefficient of Power}$$

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

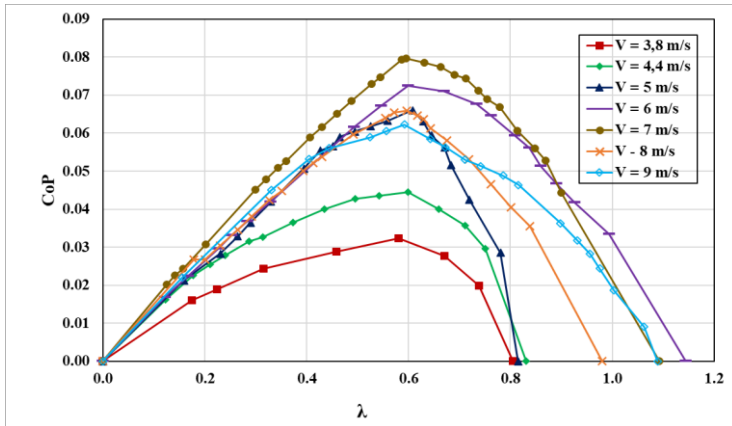
Didapatkan nilai C_M :

$$C_M = \frac{0.0281}{0.769} = 0.0365$$

4.2 Turbin Angin Savonius Tanpa Silinder Pengganggu

4.2.1 *Coefficient of Power* Turbin Angin Savonius Tanpa Silinder Pengganggu (CoP_0) sebagai Fungsi *Tip Speed Ratio* (TSR)

Grafik *Coefficient of Power* turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu sebagai fungsi TSR pada masing – masing kecepatan angin 3,8 m/s; 4,4 m/s; 5 m/s; 6 m/s; 7 m/s; 8 m/s; 9 m/s ditunjukkan pada gambar 4.1 berikut,



Gambar 4. 1 Grafik *Coefficient of Power* Turbin Angin Savonius tanpa Silinder Pengganggu sebagai fungsi *Tip Speed Ratio* pada masing – masing kecepatan angin 3,8 m/s; 4,4 m/s; 5 m/s; 6 m/s; 7 m/s; 8 m/s; 9 m/s

Gambar 4.1 menunjukkan perbandingan nilai *Coefficient of Power* (CoP) turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu sebagai fungsi nilai *Tip Speed Ratio* masing – masing pada kecepatan angin 3,8 m/s; 4,4 m/s; 5 m/s; 6 m/s; 7 m/s; 8 m/s; 9 m/s. Nilai TSR yang didapatkan bervariasi dari 0 hingga 1,144. Dapat dilihat bahwa *trendline* grafik memiliki bentuk parabolik dengan nilai CoP naik hingga nilai maksimumnya pada TSR tertentu kemudian turun hingga TSR maksimum. Pada turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu, nilai CoP maksimum terbesar terdapat pada TSR = 0,596 di kecepatan angin sebesar 7 m/s yaitu sebesar 0,0797. Pada penelitian menggunakan kecepatan angin 3,8 m/s, turbin memiliki CoP maksimum sebesar 0,0323 pada TSR = 0,581. Pada penelitian menggunakan kecepatan angin 4,4 m/s, turbin memiliki CoP maksimum sebesar 0,0445 pada TSR = 0,599. Pada penelitian menggunakan kecepatan angin 5 m/s, turbin memiliki CoP maksimum sebesar 0,0661 pada TSR = 0,608.

Pada kecepatan angin 6 m/s, CoP maksimum turbin adalah 0,0724 pada TSR = 0,599. Pada kecepatan angin 8 m/s, CoP maksimum turbin adalah 0,0660 pada TSR = 0,596. Pada kecepatan angin 9 m/s, CoP maksimum turbin adalah 0,0623 pada TSR = 0,592.

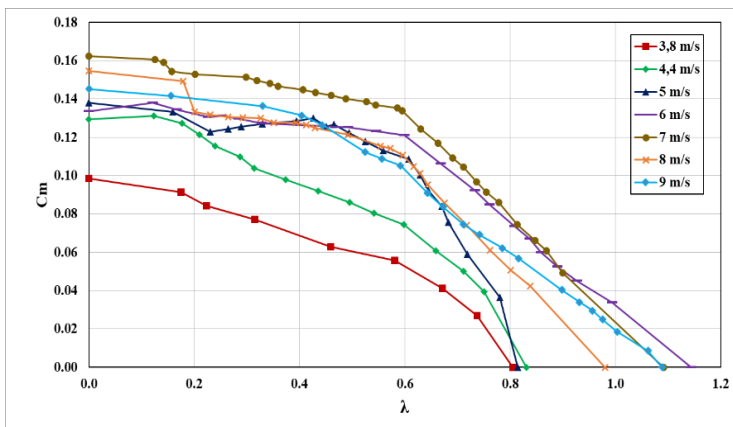
Ketujuh grafik CoP pada gambar 4.1 menunjukkan bahwa performa turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu akan meningkat hingga TSR optimal kemudian akan turun setelah melewati TSR optimalnya. Turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu bekerja paling optimal pada kecepatan angin 7 m/s. Dapat dilihat pada gambar 4.1 bahwa pada kecepatan angin 3,8 m/s; 4,4 m/s; 5 m/s; 6 m/s, turbin memiliki CoP yang lebih rendah dibandingkan dengan turbin pada kecepatan angin 7 m/s. Dapat dilihat juga bahwa turbin pada kecepatan angin 8 m/s dan 9 m/s memiliki CoP yang lebih rendah dibandingkan dengan turbin pada kecepatan angin 7 m/s. Dapat dikatakan bahwa turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu dengan kecepatan angin 7 m/s memiliki *Coefficient of Power* tertinggi dibandingkan dengan turbin pada kecepatan angin lainnya.

Hasil yang ditunjukkan pada gambar 4.1 sesuai dengan hipotesa awal penelitian yang mengatakan bahwa meningkatnya kecepatan angin akan meningkatkan gaya *drag* angin dan kecepatan rotasi poros turbin, sehingga nilai *coefficient of power* turbin akan meningkat hingga titik maksimumnya dan akan menurun setelah mencapai titik maksimumnya. Gambar 4.1 juga menunjukkan bahwa ketika turbin dialiri angin dengan kecepatan yang berbeda, turbin memiliki nilai *Tip Speed Ratio* maksimal yang berbeda pula. Hal ini dapat terjadi karena turbin pada masing – masing kecepatan angin yang berbeda, memiliki nilai putaran turbin (ω) yang berbeda – beda ketika beban pada *brakedynamometer* belum diletakkan. Turbin yang dialiri kecepatan angin tinggi cenderung memiliki nilai TSR maksimal yang lebih tinggi dibanding turbin yang dialiri angin berkecepatan rendah. Hal

ini dapat terjadi karena pada turbin yang dialiri kecepatan angin yang tinggi, lebih banyak aliran fluida yang mengalir menuju *upstream advancing blade* turbin, sehingga gaya *drag* pada *advancing blade* semakin besar dan selisih gaya *drag* kedua sudu turbin lebih besar. Selisih yang lebih besar ini membuat turbin mampu berputar lebih cepat (ω) dan nilai TSR maksimal cenderung lebih besar. Turbin tanpa silinder pengganggu pada kecepatan angin 7 m/s memiliki nilai CoP maksimum tertinggi karena kerugian yang dialami paling kecil dibandingkan dengan turbin tanpa silinder pengganggu pada kecepatan angin lainnya.

4.2.2 *Coefficient of Moment* (C_{m0}) Turbin Angin Savonius tanpa Silinder Pengganggu sebagai Fungsi *Tip Speed Ratio* (TSR)

Grafik *Coefficient of Moment* turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu sebagai fungsi TSR pada masing – masing kecepatan angin 3,8 m/s; 4,4 m/s; 5 m/s; 6 m/s; 7 m/s; 8 m/s; 9 m/s ditunjukkan pada gambar 4.2 berikut,



Gambar 4. 2 Grafik *Coefficient of Moment* Turbin Angin Savonius tanpa Silinder Pengganggu sebagai fungsi *Tip Speed Ratio* pada masing – masing kecepatan angin 3,8 m/s; 4,4 m/s; 5 m/s; 6 m/s; 7 m/s; 8 m/s; 9 m/s

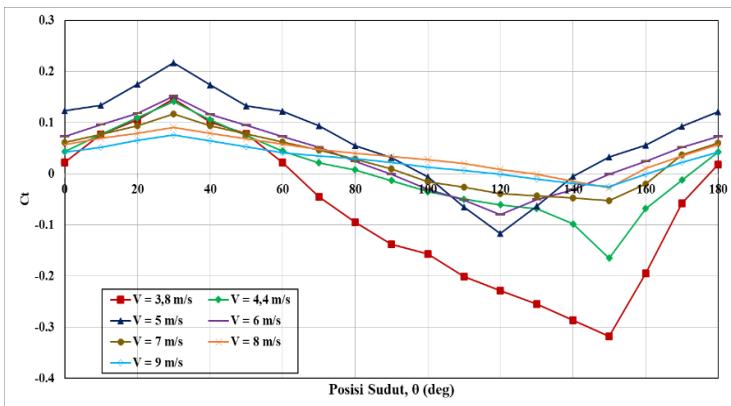
Gambar 4.2 menunjukkan perbandingan nilai *Coefficient of Moment* (C_m) turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu sebagai fungsi nilai *Tip Speed Ratio* masing – masing pada kecepatan angin 3,8 m/s; 4,4 m/s; 5 m/s; 6 m/s; 7 m/s; 8 m/s; 9 m/s. Nilai TSR yang didapatkan bervariasi dari 0 hingga 1,144. Dapat dilihat bahwa *trendline* grafik menunjukkan penurunan seiring meningkatnya nilai TSR. Turbin tanpa silinder pengganggu pada kecepatan angin 7 m/s memiliki nilai C_m maksimum terbesar, yaitu sebesar 0,1607, dibandingkan dengan turbin pada kecepatan angin 3,8 m/s; 4,4 m/s; 5 m/s; 6 m/s; 8 m/s; 9 m/s. Pada kecepatan angin 3,8 m/s, C_m maksimum turbin adalah 0,0913. Pada kecepatan angin 4,4 m/s, C_m maksimum turbin adalah 0,1313. Pada kecepatan angin 5 m/s, C_m maksimum turbin adalah 0,1333. Pada kecepatan angin 6 m/s, C_m maksimum turbin adalah 0,1381. Pada kecepatan angin 8 m/s, C_m maksimum turbin adalah 0,1492. Pada kecepatan angin 9 m/s, C_m maksimum turbin adalah 0,1417.

Dapat dilihat pada gambar 4.2 bahwa nilai C_m mengalami penurunan seiring meningkatnya nilai TSR. Hal tersebut dapat terjadi karena nilai torsi dinamis berbanding lurus dengan selisih dari nilai yang terbaca pada neraca pegas (s) dan massa pemberat (m) dengan rumus $T_d = \{ |m-s|g \}r$ dan nilai torsi dinamis berbanding lurus dengan nilai C_m , sehingga ketika TSR meningkat, selisih s dan m menurun, nilai torsi dinamis menurun, dan nilai C_m menurun. Nilai C_m maksimum tertinggi turbin terdapat pada kecepatan angin 7 m/s dan nilai C_m maksimum terendah turbin terdapat pada kecepatan angin 3,8 m/s. Dapat dilihat pada gambar 4.2 bahwa C_m turbin angin Savonius mengalami peningkatan hingga nilai maksimumnya pada kecepatan angin 7 m/s dan mengalami penurunan setelah mencapai nilai maksimumnya. C_m maksimum terbesar turbin tanpa silinder pengganggu terdapat pada kecepatan 7 m/s karena kerugian yang dialami paling kecil dibandingkan dengan turbin tanpa silinder pengganggu pada kecepatan angin

lainnya. Pada kecepatan angin 8 m/s dan 9 m/s, C_m maksimum turbin lebih kecil dibandingkan pada kecepatan 7 m/s karena kerugian yang dialami semakin besar. Berdasarkan hasil yang didapatkan, turbin angin Savonius dapat bekerja lebih baik pada kecepatan tinggi dibandingkan pada kecepatan rendah.

4.2.3 *Coefficient of Static Torque (Ct) Turbin Angin Savonius tanpa Silinder Pengganggu sebagai Fungsi Posisi Sudut Blade (θ)*

Grafik *Coefficient of Static Torque (Ct)* turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu sebagai fungsi posisi sudut *blade* (θ) pada masing – masing kecepatan angin 3,8 m/s; 4,4 m/s; 5 m/s; 6 m/s; 7 m/s; 8 m/s; 9 m/s ditunjukkan pada gambar 4.3 berikut,



Gambar 4. 3 Grafik *Coefficient of Static Torque (Ct)* Turbin Angin Savonius tanpa Silinder Pengganggu sebagai Fungsi Posisi Sudut *blade* (θ) pada masing – masing kecepatan angin 3,8 m/s; 4,4 m/s; 5 m/s; 6 m/s; 7 m/s; 8 m/s; 9 m/s

Gambar 4.3 merupakan grafik *Coefficient of Static Torque (Ct)* turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu sebagai fungsi posisi *blade* (θ) pada masing – masing kecepatan angin 3,8 m/s; 4,4 m/s; 5 m/s; 6 m/s; 7 m/s; 8 m/s; 9 m/s. Dapat

dilihat bahwa grafik *Coefficient of Static Torque* unuk kecepatan angin 3,8 m/s dan 4,4 m/s memiliki *trendline* berbentuk sinusoidal, di mana nilai *Coefficient of Static Torque* mengalami peningkatan hingga sudut 30° lalu mengalami penurunan hingga sudut 120° dan mengalam peningkatan kembali hingga sudut 180° . Grafik *Coefficient of Static Torque* untuk kecepatan angin 5 m/s hingga 9 m/s memiliki *trendline* berbentuk sinusoidal, di mana nilai *Coefficient of Static Torque* mengalami peningkatan hingga sudut 30° lalu mengalami penurunan hingga sudut 150° dan mengalami peningkatan kembali hingga sudut 180° . Pada kecepatan angin 3,8 m/s, sudut 0° turbin menghasilkan *Coefficient of Static Torque* sebesar 0,022, sudut 30° turbin menghasilkan *Coefficient of Static Torque* sebesar 0,146, sudut 150° turbin menghasilkan *Coefficient of Static Torque* sebesar -0,318, sudut 180° turbin menghasilkan *Coefficient of Static Torque* sebesar 0,018. Pada kecepatan angin 4,4 m/s, sudut 0° turbin menghasilkan *Coefficient of Static Torque* sebesar 0,043, sudut 30° turbin menghasilkan *Coefficient of Static Torque* sebesar 0,142, sudut 150° turbin menghasilkan *Coefficient of Static Torque* sebesar -0,165, sudut 180° turbin menghasilkan *Coefficient of Static Torque* sebesar 0,042. Pada kecepatan angin 5 m/s, sudut 0° turbin menghasilkan *Coefficient of Static Torque* sebesar 0,123, sudut 30° turbin menghasilkan *Coefficient of Static Torque* sebesar 0,217, sudut 120° turbin menghasilkan *Coefficient of Static Torque* sebesar -0,116, sudut 180° turbin menghasilkan *Coefficient of Static Torque* sebesar 0,121. Pada kecepatan angin 6 m/s, sudut 0° turbin menghasilkan *Coefficient of Static Torque* sebesar 0,073, sudut 30° turbin menghasilkan *Coefficient of Static Torque* sebesar 0,152, sudut 120° turbin menghasilkan *Coefficient of Static Torque* sebesar -0,079, sudut 180° turbin menghasilkan *Coefficient of Static Torque* sebesar 0,073. Pada kecepatan angin 7 m/s, sudut 0° turbin menghasilkan *Coefficient of Static Torque* sebesar 0,061, sudut 30° turbin menghasilkan *Coefficient of Static Torque* sebesar

0,117, sudut 150° turbin menghasilkan *Coefficient of Static Torque* sebesar -0,053, sudut 180° turbin menghasilkan *Coefficient of Static Torque* sebesar 0,059. Pada kecepatan angin 8 m/s, sudut 0° turbin menghasilkan *Coefficient of Static Torque* sebesar 0,057, sudut 30° turbin menghasilkan *Coefficient of Static Torque* sebesar 0,090, sudut 150° turbin menghasilkan *Coefficient of Static Torque* sebesar -0,027, sudut 180° turbin menghasilkan *Coefficient of Static Torque* sebesar 0,057. Pada kecepatan angin 9 m/s, sudut 0° turbin menghasilkan *Coefficient of Static Torque* sebesar 0,042, sudut 30° turbin menghasilkan *Coefficient of Static Torque* sebesar 0,075, sudut 150° turbin menghasilkan *Coefficient of Static Torque* sebesar -0,025, sudut 180° turbin menghasilkan *Coefficient of Static Torque* sebesar 0,042.

Coefficient of Static Torque maksimum paling tinggi turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu yang didapatkan pada penelitian ini adalah pada kecepatan angin 5 m/s. Hal ini dapat terjadi karena semakin besar kecepatan angin, semakin banyak aliran udara yang menabrak sudu turbin sehingga dibutuhkan gaya yang lebih besar untuk menahan turbin, sehingga nilai *Coefficient of Static Torque* semakin tinggi. Dapat dilihat pada ketujuh grafik bahwa nilai *Coefficient of Static Torque* maksimum berada pada posisi sudut turbin 30° . Hal ini menunjukkan bahwa pada sudut 30° , turbin memiliki kemampuan *self starting* tertinggi dibandingkan dengan posisi sudut turbin lainnya karena *advancing blade* menerima gaya *drag* paling besar. Dapat dilihat pada grafik *Coefficient of Static Torque* turbin untuk kecepatan 5 m/s dan 6 m/s bahwa nilai *Coefficient of Static Torque* minimum berada pada posisi sudut turbin 120° , di mana *Coefficient of Static Torque* bernilai negatif. Torsi statis bernilai negatif menunjukkan bahwa *advancing blade* menerima gaya *drag* lebih kecil dibandingkan *returning blade* turbin, sehingga turbin perlu diberi gaya dari luar agar dapat mulai berputar dari keadaan diam. Pada kondisi tersebut, turbin dikatakan tidak

mempunyai kemampuan *self starting*. Dapat dilihat pada grafik *Coefficient of Static Torque* turbin untuk kecepatan 3,8 m/s, 4,4 m/s, 7 m/s hingga 9 m/s bahwa nilai *Coefficient of Static Torque* minimum berada pada posisi sudut turbin 150° , di mana *Coefficient of Static Torque* bernilai negatif. Pada kondisi tersebut, turbin dikatakan tidak mempunyai kemampuan *self starting*.

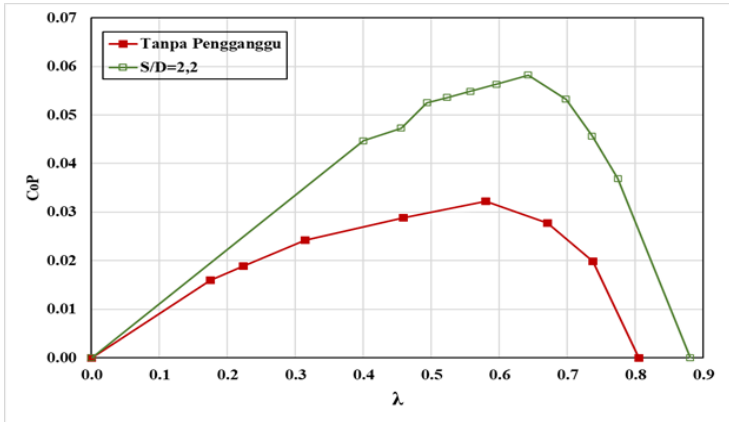
Dapat dilihat pada gambar 4.3 bahwa turbin angin Savonius pada kecepatan angin 5 m/s dan 6 m/s memiliki nilai *Coefficient of Static Torque* minimal pada sudut 120° , berbeda dengan turbin pada kecepatan angin 3,8 m/s, 4,4 m/s, 7 m/s hingga 9 m/s yang memiliki nilai *Coefficient of Static Torque* minimal pada sudut 150° . Hal ini dapat terjadi karena pada kecepatan 5 m/s dan 6 m/s kerugian terbesar yang dialami oleh turbin berada pada posisi sudut turbin 120° . Kerugian yang dimaksud adalah kerugian yang dipengaruhi oleh luasan sudu turbin yang terkena aliran angin. Turbin pada posisi sudut 130° hingga 180° mengalami kerugian yang semakin berkurang, sehingga nilai minimum *Coefficient of Static Torque* turbin pada kecepatan angin 5 m/s dan 6 m/s berada pada sudut 120° .

4.3 Analisis Performa Turbin Angin Savonius dengan Silinder Pengganggu

4.3.1 *Coefficient of Power* (CoP) Turbin Angin Savonius sebagai Fungsi *Tip Speed Ratio* tanpa dan dengan Silinder Pengganggu untuk Kecepatan Angin 3,8 m/s

Grafik *Coefficient of Power* turbin angin Savonius sebagai fungsi *Tip Speed Ratio* tanpa dan dengan silinder

pengganggu untuk kecepatan angin 3,8 m/s dapat dilihat pada gambar 4.4 berikut,



Gambar 4. 4 Grafik *Coefficient of Power* (CoP) Turbin Angin Savonius fungsi *Tip Speed Ratio* (TSR) tanpa dan dengan silinder pengganggu pada kecepatan angin 3,8 m/s.

Posisi silinder pengganggu yang digunakan pada penelitian ini adalah S/D 2,2. Variasi nilai TSR didapatkan dengan memvariasikan massa pemberat yang diberikan hingga didapatkan variasi TSR mulai dari 0 hingga 0,881. Dapat dilihat bahwa grafik yang dihasilkan pada gambar 4.4 mempunyai *trendline* nilai CoP berbentuk parabolik yang naik hingga nilai maksimum pada TSR tertentu, kemudian turun setelah melewati titik maksimum. Pada turbin angin tanpa diberi pengganggu didapatkan nilai CoP maksimum sebesar 0,0323 pada TSR = 0,581. Pada turbin angin dengan silinder pengganggu pada S/D = 2,2 didapatkan nilai CoP maksimum sebesar 0,0582 pada TSR = 0,643. Pemberian silinder pengganggu di depan *returning blade* pada kecepatan angin 3,8 m/s meningkatkan CoP turbin sebesar 0,02587.

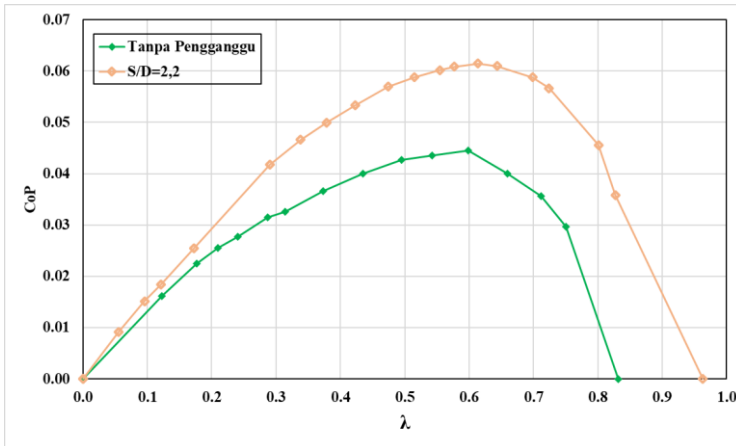
Tabel 4. 2 Perbandingan nilai CoP dan TSR Turbin tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 3,8 m/s

V = 3,8 m/s					
Tanpa silinder pengganggu		Dengan Silinder pengganggu		ΔC_oP	$\Delta C_oP/C_oP_{max0}$
TSR (λ)	C_oP_{max0}	TSR (λ)	C_oP_{max}		
0,581	0,032	0,643	0,058	0,026	80,49%

Berdasarkan tabel 4.2, dapat dilihat bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ membuat turbin memiliki nilai CoP maksimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin tanpa menggunakan silinder pengganggu pada kecepatan 3,8 m/s. Dapat dikatakan bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ efektif mengurangi tekanan di depan *returning blade*. Selisih tekanan di depan dan di belakang *returning blade* akan menurun sehingga *pressure drag* pada *returning blade* menurun, gaya *drag* pada *returning blade* menurun, selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat, dan CoP turbin meningkat pula. Selain itu, pemberian silinder pengganggu pada $S/D = 2,2$ menyebabkan *boundary layer* pada *returning blade* turbin terganggu, sehingga semakin cepatnya transisi aliran dari laminar menuju turbulen yang menyebabkan kemampuan aliran untuk melawan gaya gesek dan *adverse pressure gradient* semakin besar. Hal ini membuat titik separasi mundur sehingga *wake* yang terbentuk mengecil yang menyebabkan gaya *drag* pada *returning blade* menurun dan selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat. Oleh sebab itu, torsi dan *Coefficient of Performance* turbin meningkat. Pemberian silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin pada posisi $S/D = 2,2$ dan kecepatan angin 3,8 m/s mampu memberikan peningkatan CoP sebesar 80,49%.

4.3.2 *Coefficient of Power (CoP) Turbin Angin Savonius sebagai Fungsi Tip Speed Ratio tanpa dan dengan Silinder Pengganggu untuk Kecepatan Angin 4,4 m/s*

Grafik *Coefficient of Power* turbin angin Savonius sebagai fungsi *Tip Speed Ratio* tanpa dan dengan silinder pengganggu untuk kecepatan angin 4,4 m/s dapat dilihat pada gambar 4.5 berikut,



Gambar 4. 5 Grafik *Coefficient of Power (CoP) Turbin Angin Savonius fungsi Tip Speed Ratio (TSR) tanpa dan dengan silinder pengganggu pada kecepatan angin 4,4 m/s.*

Posisi silinder pengganggu yang digunakan pada penelitian ini adalah S/D 2,2. Variasi nilai TSR didapatkan dengan memvariasikan massa pemberat yang diberikan hingga didapatkan variasi TSR mulai dari 0 hingga 0,963. Dapat dilihat bahwa grafik yang dihasilkan pada gambar 4.5 mempunyai *trendline* nilai CoP berbentuk parabolik yang naik hingga nilai maksimum pada TSR tertentu, kemudian turun setelah melewati titik maksimum. Pada turbin angin tanpa diberi pengganggu didapatkan nilai CoP maksimum sebesar 0.0445 pada TSR = 0.599. Pada turbin angin dengan silinder

pengganggu pada $S/D = 2,2$ didapatkan nilai CoP maksimum sebesar 0.0615 pada $TSR = 0.614$. Pemberian silinder pengganggu di depan *returning blade* pada kecepatan angin 4,4 m/s meningkatkan CoP turbin sebesar 0.0169.

Tabel 4. 3 Perbandingan nilai CoP dan TSR Turbin tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 4,4 m/s

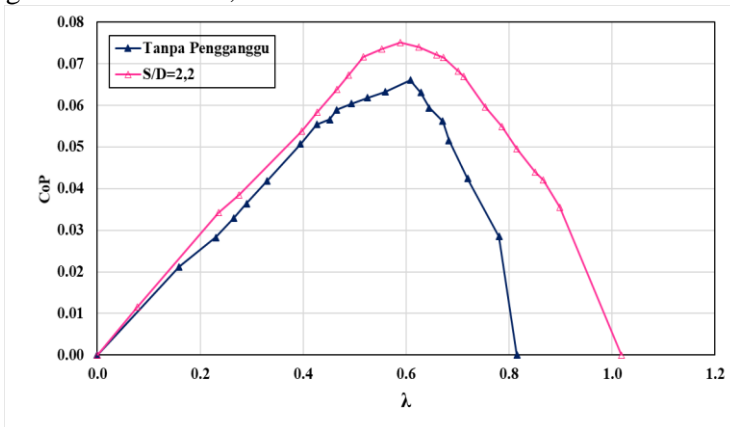
V = 4,4 m/s					
Tanpa silinder pengganggu		Dengan Silinder pengganggu		ΔC_oP	$\Delta CoP/CoP_{max0}$
TSR (λ)	CoP max	TSR (λ)	CoP max		
0,599	0,045	0,614	0,061	0,017	38%

Berdasarkan tabel 4.3, dapat dilihat bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ membuat turbin memiliki nilai CoP maksimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin tanpa menggunakan silinder pengganggu pada kecepatan 4,4 m/s. Dapat dikatakan bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ efektif mengurangi tekanan di depan *returning blade*. Selisih tekanan di depan dan di belakang *returning blade* akan menurun sehingga *pressure drag* pada *returning blade* menurun, gaya *drag* pada *returning blade* menurun, selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat, dan CoP turbin meningkat pula. Selain itu, pemberian silinder pengganggu pada $S/D = 2,2$ menyebabkan *boundary layer* pada *returning blade* turbin terganggu, sehingga semakin cepatnya transisi aliran dari laminar menuju turbulen yang menyebabkan kemampuan aliran untuk melawan gaya gesek dan *adverse pressure gradient* semakin besar. Hal ini membuat titik separasi mundur sehingga *wake* yang terbentuk mengecil yang menyebabkan gaya *drag* pada *returning blade* menurun dan selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat. Oleh sebab itu, torsi dan *Coefficient of Performance* turbin meningkat.

Pemberian silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin pada posisi $S/D = 2,2$ dan kecepatan angin 4,4 m/s mampu memberikan peningkatan CoP sebesar 38%

4.3.3 *Coefficient of Power (CoP) Turbin Angin Savonius sebagai Fungsi Tip Speed Ratio tanpa dan dengan Silinder Pengganggu untuk Kecepatan Angin 5 m/s*

Grafik *Coefficient of Power* turbin angin Savonius sebagai fungsi *Tip Speed Ratio* tanpa dan dengan silinder pengganggu untuk kecepatan angin 5 m/s dapat dilihat pada gambar 4.6 berikut,



Gambar 4. 6 Grafik *Coefficient of Power (CoP) Turbin Angin Savonius* fungsi *Tip Speed Ratio (TSR)* tanpa dan dengan silinder pengganggu pada kecepatan angin 5 m/s.

Posisi silinder pengganggu yang digunakan pada penelitian ini adalah S/D 2,2. Variasi nilai TSR didapatkan dengan memvariasikan massa pemberat yang diberikan hingga didapatkan variasi TSR mulai dari 0 hingga 1,019. Dapat dilihat bahwa grafik yang dihasilkan pada gambar 4.6 mempunyai *trendline* nilai CoP berbentuk parabolik yang naik hingga nilai maksimum pada TSR tertentu, kemudian turun setelah melewati titik maksimum. Pada turbin angin tanpa

diberi pengganggu didapatkan nilai CoP maksimum sebesar 0.0661 pada TSR = 0.608. Pada turbin angin dengan silinder pengganggu pada S/D = 2,2 didapatkan nilai CoP maksimum sebesar 0.0752 pada TSR = 0.589. Pemberian silinder pengganggu di depan *returning blade* pada kecepatan angin 5 m/s meningkatkan CoP turbin sebesar 0.0091.

Tabel 4. 4 Perbandingan nilai CoP dan TSR Turbin tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 5 m/s

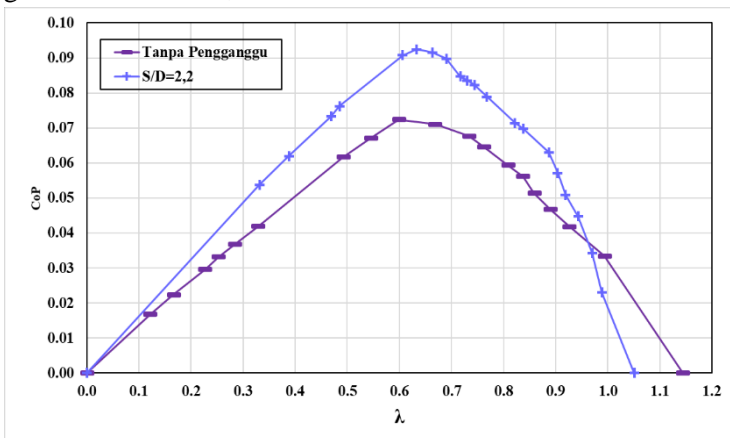
V = 5 m/s					
Tanpa silinder pengganggu		Dengan Silinder pengganggu		ΔCoP	$\Delta CoP/CoP_{max0}$
TSR (λ)	CoP max	TSR (λ)	CoP max		
0,608	0,066	0,589	0,075	0,009	13,78%

Berdasarkan tabel 4.4, dapat dilihat bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi S/D = 2,2 membuat turbin memiliki nilai CoP maksimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin tanpa menggunakan silinder pengganggu pada kecepatan 5 m/s. Dapat dikatakan bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi S/D = 2,2 efektif mengurangi tekanan di depan *returning blade*. Selisih tekanan di depan dan di belakang *returning blade* akan menurun sehingga *pressure drag* pada *returning blade* menurun, gaya *drag* pada *returning blade* menurun, selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat, dan CoP turbin meningkat pula. Selain itu, pemberian silinder pengganggu pada S/D = 2,2 menyebabkan *boundary layer* pada *returning blade* turbin terganggu, sehingga semakin cepatnya transisi aliran dari laminar menuju turbulen yang menyebabkan kemampuan aliran untuk melawan gaya gesek dan *adverse pressure gradient* semakin besar. Hal ini membuat titik separasi mundur sehingga *wake* yang terbentuk mengecil yang

menyebabkan gaya *drag* pada *returning blade* menurun dan selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat. Oleh sebab itu, torsi dan *Coefficient of Performance* turbin meningkat. Pemberian silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin pada posisi $S/D = 2,2$ dan kecepatan angin 5 m/s mampu memberikan peningkatan CoP sebesar 13,78%.

4.3.4 *Coefficient of Power* (CoP) Turbin Angin Savonius sebagai Fungsi *Tip Speed Ratio* tanpa dan dengan Silinder Pengganggu untuk Kecepatan Angin 6 m/s

Grafik *Coefficient of Power* turbin angin Savonius sebagai fungsi *Tip Speed Ratio* tanpa dan dengan silinder pengganggu untuk kecepatan angin 6 m/s dapat dilihat pada gambar 4.7 berikut,



Gambar 4. 7 Grafik *Coefficient of Power* (CoP) Turbin Angin Savonius fungsi *Tip Speed Ratio* (TSR) tanpa dan dengan silinder pengganggu pada kecepatan angin 6 m/s.

Posisi silinder pengganggu yang digunakan pada penelitian ini adalah S/D 2,2. Variasi nilai TSR didapatkan dengan memvariasikan massa pemberat yang diberikan hingga didapatkan variasi TSR mulai dari 0 hingga 1,144. Dapat

dilihat bahwa grafik yang dihasilkan pada gambar 4.7 mempunyai *trendline* nilai CoP berbentuk parabolik yang naik hingga nilai maksimum pada TSR tertentu, kemudian turun setelah melewati titik maksimum. Pada turbin angin tanpa diberi pengganggu didapatkan nilai CoP maksimum sebesar 0.0724 pada TSR = 0.599. Pada turbin angin dengan silinder pengganggu pada S/D = 2,2 didapatkan nilai CoP maksimum sebesar 0.0925 pada TSR = 0.633. Pemberian silinder pengganggu di depan *returning blade* pada kecepatan angin 6 m/s meningkatkan CoP turbin sebesar 0.02001.

Tabel 4. 5 Perbandingan nilai CoP dan TSR Turbin tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 6 m/s

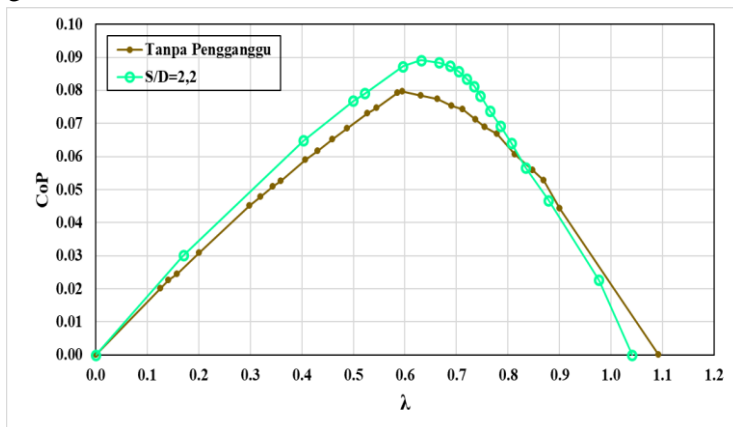
V = 6 m/s					
Tanpa silinder pengganggu		Dengan Silinder pengganggu		ΔCoP	$\frac{\Delta\text{CoP}}{\text{CoP}_{\text{max0}}}$
TSR (λ)	CoP max	TSR (λ)	CoP max		
0,599	0,072	0,633	0,092	0,020	27,63%

Berdasarkan tabel 4.5, dapat dilihat bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi S/D = 2,2 membuat turbin memiliki nilai CoP maksimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin tanpa menggunakan silinder pengganggu pada kecepatan 6 m/s. Dapat dikatakan bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi S/D = 2,2 efektif mengurangi tekanan di depan *returning blade*. Selisih tekanan di depan dan di belakang *returning blade* akan menurun sehingga *pressure drag* pada *returning blade* menurun, gaya *drag* pada *returning blade* menurun, selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat, dan CoP turbin meningkat pula. Selain itu, pemberian silinder pengganggu pada S/D = 2,2 menyebabkan *boundary layer* pada *returning blade* turbin terganggu, sehingga semakin cepatnya

transisi aliran dari laminar menuju turbulen yang menyebabkan kemampuan aliran untuk melawan gaya gesek dan *adverse pressure gradient* semakin besar. Hal ini membuat titik separasi mundur sehingga *wake* yang terbentuk mengecil yang menyebabkan gaya *drag* pada *returning blade* menurun dan selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat. Oleh sebab itu, torsi dan *Coefficient of Performance* turbin meningkat. Pemberian silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin pada posisi $S/D = 2,2$ dan kecepatan angin 6 m/s mampu memberikan peningkatan CoP sebesar 27,63%.

4.3.5 *Coefficient of Power* (CoP) Turbin Angin Savonius sebagai Fungsi *Tip Speed Ratio* tanpa dan dengan Silinder Pengganggu untuk Kecepatan Angin 7 m/s

Grafik *Coefficient of Power* turbin angin Savonius sebagai fungsi *Tip Speed Ratio* tanpa dan dengan silinder pengganggu untuk kecepatan angin 7 m/s dapat dilihat pada gambar 4.8 berikut,



Gambar 4. 8 Grafik *Coefficient of Power* (CoP) Turbin Angin Savonius fungsi *Tip Speed Ratio* (TSR) tanpa dan dengan silinder pengganggu pada kecepatan angin 7 m/s.

Posisi silinder pengganggu yang digunakan pada penelitian ini adalah S/D 2,2. Variasi nilai TSR didapatkan dengan memvariasikan massa pemberat yang diberikan hingga didapatkan variasi TSR mulai dari 0 hingga 1,092. Dapat dilihat bahwa grafik yang dihasilkan pada gambar 4.8 mempunyai *trendline* nilai CoP berbentuk parabolik yang naik hingga nilai maksimum pada TSR tertentu, kemudian turun setelah melewati titik maksimum. Pada turbin angin tanpa diberi pengganggu didapatkan nilai CoP maksimum sebesar 0.0797 pada TSR = 0.596. Pada turbin angin dengan silinder pengganggu pada S/D = 2,2 didapatkan nilai CoP maksimum sebesar 0.089 pada TSR = 0.631. Pemberian silinder pengganggu di depan *returning blade* pada kecepatan angin 7 m/s meningkatkan CoP turbin sebesar 0.0094.

Tabel 4. 6 Perbandingan nilai CoP dan TSR Turbin tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 7 m/s

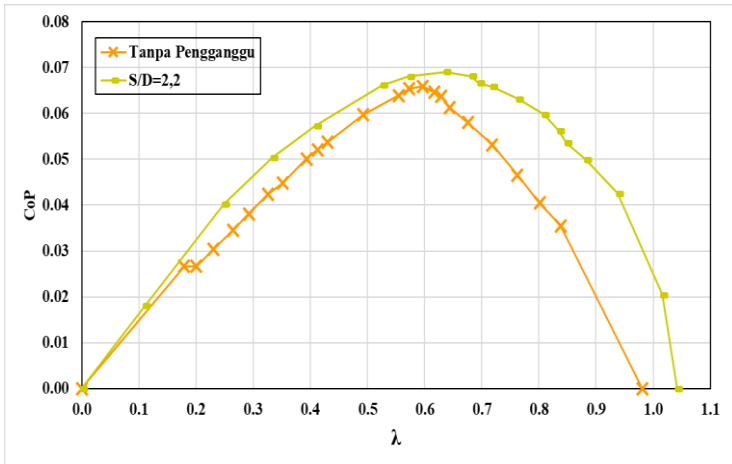
V = 7 m/s					
Tanpa silinder pengganggu		Dengan Silinder pengganggu		ΔC_{oP}	$\Delta CoP/Co P_{max0}$
TSR (λ)	CoP max	TSR (λ)	CoP max		
0,596	0,080	0,631	0,089	0,009	11,75%

Berdasarkan tabel 4.6, dapat dilihat bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi S/D = 2,2 membuat turbin memiliki nilai CoP maksimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin tanpa menggunakan silinder pengganggu pada kecepatan 7 m/s. Dapat dikatakan bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi S/D = 2,2 efektif mengurangi tekanan di depan *returning blade*. Selisih tekanan di depan dan di belakang *returning blade* akan menurun sehingga *pressure*

drag pada *returning blade* menurun, gaya *drag* pada *returning blade* menurun, selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat, dan CoP turbin meningkat pula. Selain itu, pemberian silinder pengganggu pada $S/D = 2,2$ menyebabkan *boundary layer* pada *returning blade* turbin terganggu, sehingga semakin cepatnya transisi aliran dari laminar menuju turbulen yang menyebabkan kemampuan aliran untuk melawan gaya gesek dan *adverse pressure gradient* semakin besar. Hal ini membuat titik separasi mundur sehingga *wake* yang terbentuk mengecil yang menyebabkan gaya *drag* pada *returning blade* menurun dan selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat. Oleh sebab itu, torsi dan *Coefficient of Performance* turbin meningkat. Pemberian silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin pada posisi $S/D = 2,2$ dan kecepatan angin 7 m/s mampu memberikan peningkatan CoP sebesar 11,75%.

4.3.6 Coefficient of Power (CoP) Turbin Angin Savonius sebagai Fungsi Tip Speed Ratio tanpa dan dengan Silinder Pengganggu untuk Kecepatan Angin 8 m/s

Grafik *Coefficient of Power* turbin angin Savonius sebagai fungsi *Tip Speed Ratio* tanpa dan dengan silinder pengganggu untuk kecepatan angin 8 m/s dapat dilihat pada gambar 4.9 berikut,



Gambar 4. 9 Grafik *Coefficient of Power* (CoP) Turbin Angin Savonius fungsi *Tip Speed Ratio* (TSR) tanpa dan dengan silinder pengganggu pada kecepatan angin 8 m/s

Posisi silinder pengganggu yang digunakan pada penelitian ini adalah S/D 2,2. Variasi nilai TSR didapatkan dengan memvariasikan massa pemberat yang diberikan hingga didapatkan variasi TSR mulai dari 0 hingga 1,041. Dapat dilihat bahwa grafik yang dihasilkan pada gambar 4.9 mempunyai *trendline* nilai CoP berbentuk parabolik yang naik hingga nilai maksimum pada TSR tertentu, kemudian turun setelah melewati titik maksimum. Pada turbin angin tanpa diberi pengganggu didapatkan nilai CoP maksimum sebesar 0.0659 pada TSR = 0.596. Pada turbin angin dengan silinder pengganggu pada S/D = 2,2 didapatkan nilai CoP maksimum sebesar 0.06911 pada TSR = 0.637. Pemberian silinder pengganggu di depan *returning blade* pada kecepatan angin 8 m/s meningkatkan CoP turbin sebesar 0.00316.

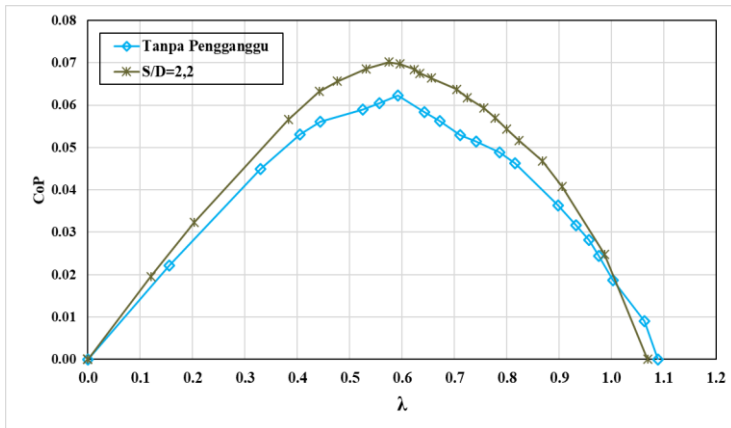
Tabel 4. 7 Perbandingan nilai CoP dan TSR Turbin tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin, 8 m/s

V = 8 m/s					
Tanpa silinder pengganggu		Dengan Silinder pengganggu		ΔC_{oP}	$\Delta CoP/Co P_{max0}$
TSR (λ)	CoP max	TSR (λ)	CoP max		
0,596	0,066	0,637	0,069	0,003	4,79%

Berdasarkan tabel 4.7, dapat dilihat bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ membuat turbin memiliki nilai CoP maksimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin tanpa menggunakan silinder pengganggu pada kecepatan 8 m/s. Dapat dikatakan bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ efektif mengurangi tekanan di depan *returning blade*. Selisih tekanan di depan dan di belakang *returning blade* akan menurun sehingga *pressure drag* pada *returning blade* menurun, gaya *drag* pada *returning blade* menurun, selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat, dan CoP turbin meningkat pula. Selain itu, pemberian silinder pengganggu pada $S/D = 2,2$ menyebabkan *boundary layer* pada *returning blade* turbin terganggu, sehingga semakin cepatnya transisi aliran dari laminar menuju turbulen yang menyebabkan kemampuan aliran untuk melawan gaya gesek dan *adverse pressure gradient* semakin besar. Hal ini membuat titik separasi mundur sehingga *wake* yang terbentuk mengecil yang menyebabkan gaya *drag* pada *returning blade* menurun dan selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat. Oleh sebab itu, torsi dan *Coefficient of Performance* turbin meningkat. Pemberian silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin pada posisi $S/D = 2,2$ dan kecepatan angin 8 m/s mampu memberikan peningkatan CoP sebesar 4,79%.

4.3.7 *Coefficient of Power (CoP) Turbin Angin Savonius sebagai Fungsi Tip Speed Ratio tanpa dan dengan Silinder Pengganggu untuk Kecepatan Angin 9 m/s*

Grafik *Coefficient of Power* turbin angin Savonius sebagai fungsi *Tip Speed Ratio* tanpa dan dengan silinder pengganggu untuk kecepatan angin 9 m/s dapat dilihat pada gambar 4.10 berikut,



Gambar 4. 10 Grafik *Coefficient of Power (CoP) Turbin Angin Savonius fungsi Tip Speed Ratio (TSR) tanpa dan dengan silinder pengganggu pada kecepatan angin 9 m/s*

Posisi silinder pengganggu yang digunakan pada penelitian ini adalah S/D 2,2. Variasi nilai TSR didapatkan dengan memvariasikan massa pemberat yang diberikan hingga didapatkan variasi TSR mulai dari 0 hingga 1,089. Dapat dilihat bahwa grafik yang dihasilkan pada gambar 4.10 mempunyai *trendline* nilai CoP berbentuk parabolik yang naik hingga nilai maksimum pada TSR tertentu, kemudian turun setelah melewati titik maksimum. Pada turbin angin tanpa diberi pengganggu didapatkan nilai CoP maksimum sebesar 0.0623 pada TSR = 0.591. Pada turbin angin dengan silinder pengganggu pada S/D = 2,2 didapatkan nilai CoP maksimum

sebesar 0.07014 pada $TSR = 0.575$. Pemberian silinder pengganggu di depan *returning blade* pada kecepatan angin 9 m/s meningkatkan CoP turbin sebesar 0.00783.

Tabel 4. 8 Perbandingan nilai CoP dan TSR Turbin tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 9 m/s

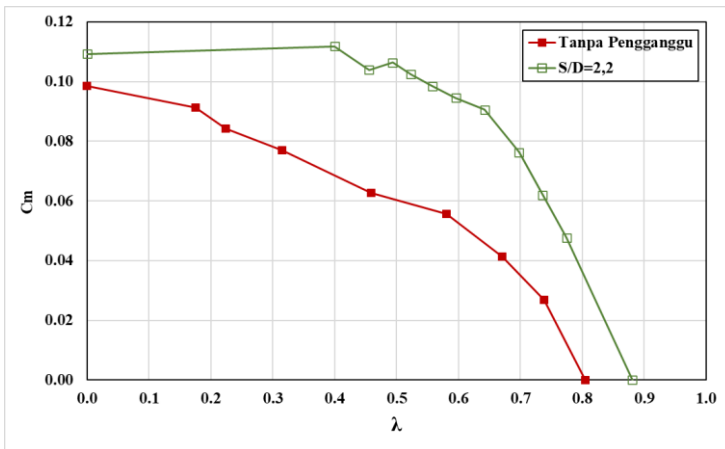
V = 9 m/s					
Tanpa silinder pengganggu		Dengan Silinder pengganggu		ΔC_{oP}	$\Delta CoP/Co P_{max0}$
TSR (λ)	CoP max	TSR (λ)	CoP max		
0,592	0,062	0,575	0,070	0,008	12,57%

Berdasarkan tabel 4.8, dapat dilihat bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ membuat turbin memiliki nilai CoP maksimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin tanpa menggunakan silinder pengganggu pada kecepatan 9 m/s. Dapat dikatakan bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ efektif mengurangi tekanan di depan *returning blade*. Selisih tekanan di depan dan di belakang *returning blade* akan menurun sehingga *pressure drag* pada *returning blade* menurun, gaya *drag* pada *returning blade* menurun, selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat, dan CoP turbin meningkat pula. Selain itu, pemberian silinder pengganggu pada $S/D = 2,2$ menyebabkan *boundary layer* pada *returning blade* turbin terganggu, sehingga semakin cepatnya transisi aliran dari laminar menuju turbulen yang menyebabkan kemampuan aliran untuk melawan gaya gesek dan *adverse pressure gradient* semakin besar. Hal ini membuat titik separasi mundur sehingga *wake* yang terbentuk mengecil yang menyebabkan gaya *drag* pada *returning blade* menurun dan selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat. Oleh sebab itu, torsi dan *Coefficient of Performance* turbin meningkat. Pemberian silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin

pada posisi $S/D = 2,2$ dan kecepatan angin 9 m/s mampu memberikan peningkatan CoP sebesar 12,57%.

4.3.8 *Coefficient of Moment (Cm) Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu sebagai Fungsi Tip Speed Ratio (TSR) pada Kecepatan Angin 3,8 m/s*

Grafik *Coefficient of Moment* turbin angin Savonius sebagai fungsi *Tip Speed Ratio* tanpa dan dengan silinder pengganggu untuk kecepatan angin 3,8 m/s dapat dilihat pada gambar 4.11 berikut,



Gambar 4. 11 Grafik *Coefficient of Moment (Cm) Turbin Angin Savonius* fungsi *Tip Speed Ratio (TSR)* tanpa dan dengan silinder pengganggu pada kecepatan angin 3,8 m/s

Gambar 4.11 Merupakan grafik *Coefficient of Moment (Cm)* turbin angin Savonius tanpa dan dengan silinder pengganggu pada kecepatan angin 3,8 m/s. Posisi silinder pengganggu yang digunakan adalah $S/D = 2,2$. Variasi nilai TSR didapatkan dengan memvariasikan massa pemberat yang diberikan hingga didapatkan variasi TSR mulai dari 0 hingga 0,881. Dapat dilihat pada gambar 4.11, grafik memiliki

trendline nilai C_m yang naik hingga nilai maksimum C_m pada TSR tertentu kemudian turun setelah melewati titik maksimum seiring meningkatnya TSR. Pada turbin angin tanpa diberi pengganggu didapatkan nilai C_m maksimum sebesar 0,098 pada TSR = 0. Pada turbin angin dengan silinder pengganggu pada $S/D = 2,2$ didapatkan nilai C_m maksimum sebesar 0,112 pada TSR = 0,400. Peningkatan nilai C_m yang terjadi adalah sebesar 0,014.

Tabel 4. 9 Perbandingan nilai C_m dan TSR Turbin tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 3,8 m/s

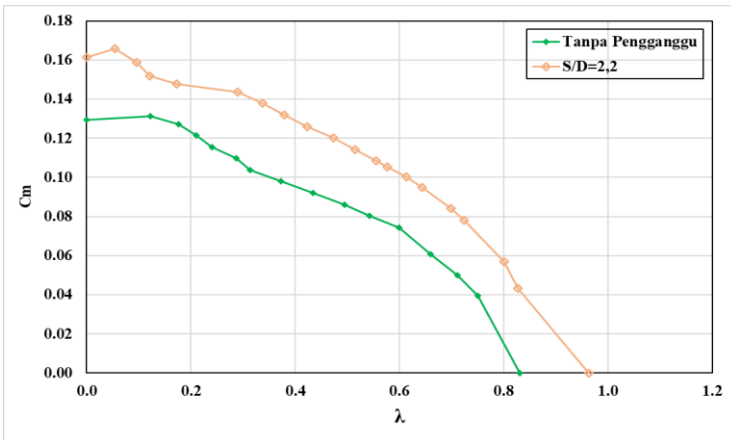
V = 3.8 m/s					
Tanpa silinder pengganggu		Dengan Silinder pengganggu		ΔC_m	$\Delta C_m/C_{m_{max0}}$
TSR (λ)	$C_{m_{max0}}$	TSR (λ)	$C_{m_{max}}$		
0	0,098	0,4	0,112	0,014	14,1%

Berdasarkan tabel 4.9, dapat dilihat bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ membuat turbin memiliki nilai C_m maksimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin tanpa menggunakan silinder pengganggu pada kecepatan 3,8 m/s. Dapat dikatakan bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ efektif mengurangi tekanan di depan *returning blade*. Selisih tekanan di depan dan di belakang *returning blade* akan menurun sehingga *pressure drag* pada *returning blade* menurun, gaya *drag* pada *returning blade* menurun, selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat, dan C_m turbin meningkat pula. Selain itu, pemberian silinder pengganggu pada $S/D = 2,2$ menyebabkan *boundary layer* pada *returning blade* turbin terganggu, sehingga semakin cepatnya transisi aliran dari laminar menuju turbulen yang menyebabkan kemampuan aliran untuk melawan gaya gesek dan *adverse*

pressure gradient semakin besar. Hal ini membuat titik separasi mundur sehingga *wake* yang terbentuk mengecil yang menyebabkan gaya *drag* pada *returning blade* menurun dan selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat. Oleh sebab itu, torsi dan *Coefficient of Moment* turbin meningkat. Pemberian silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin pada posisi $S/D = 2,2$ dan kecepatan angin $3,8 \text{ m/s}$ mampu memberikan peningkatan C_m sebesar $14,1\%$.

4.3.9 *Coefficient of Moment* (C_m) Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu sebagai Fungsi *Tip Speed Ratio* (TSR) pada Kecepatan Angin $4,4 \text{ m/s}$

Grafik *Coefficient of Moment* turbin angin Savonius sebagai fungsi *Tip Speed Ratio* tanpa dan dengan silinder pengganggu untuk kecepatan angin $4,4 \text{ m/s}$ dapat dilihat pada gambar 4.12 berikut,



Gambar 4. 12 Grafik *Coefficient of Moment* (C_m) Turbin Angin Savonius fungsi *Tip Speed Ratio* (TSR) tanpa dan dengan silinder pengganggu pada kecepatan angin $4,4 \text{ m/s}$

Gambar 4.12 Merupakan grafik *Coefficient of Moment* (C_m) turbin angin Savonius tanpa dan dengan silinder

pengganggu pada kecepatan angin 4,4 m/s. Posisi silinder pengganggu yang digunakan adalah $S/D = 2,2$. Variasi nilai TSR didapatkan dengan memvariasikan massa pemberat yang diberikan hingga didapatkan variasi TSR mulai dari 0 hingga 0,963. Dapat dilihat pada gambar 4.12, grafik memiliki *trendline* nilai C_m yang naik hingga nilai maksimum C_m pada TSR tertentu kemudian turun setelah melewati titik maksimum seiring meningkatnya TSR. Pada turbin angin tanpa diberi pengganggu didapatkan nilai C_m maksimum sebesar 0,131 pada $TSR = 0,123$. Pada turbin angin dengan silinder pengganggu pada $S/D = 2,2$ didapatkan nilai C_m maksimum sebesar 0,166 pada $TSR = 0,055$. Peningkatan nilai C_m yang terjadi adalah sebesar 0,034.

Tabel 4. 10 Perbandingan nilai C_m dan TSR Turbin tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 4,4 m/s

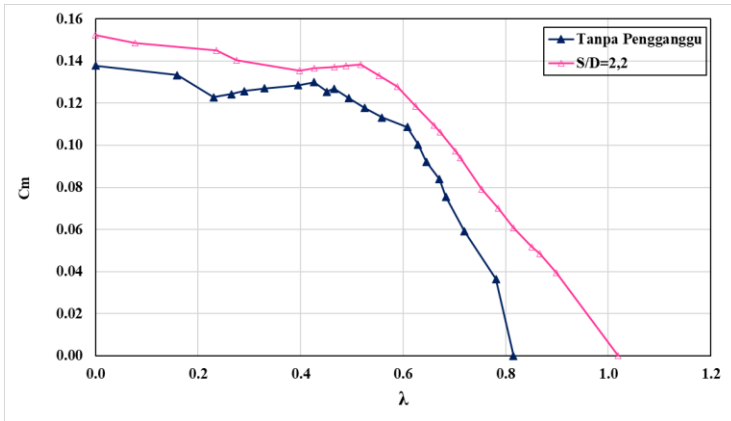
V = 4,4 m/s					
Tanpa silinder pengganggu		Dengan Silinder pengganggu		ΔC_m	$\Delta C_m / C_{m_{max0}}$
TSR (λ)	$C_{m_{max0}}$	TSR (λ)	$C_{m_{max}}$		
0,123	0,131	0,055	0,166	0,034	26,1%

Berdasarkan tabel 4.10, dapat dilihat bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ membuat turbin memiliki nilai C_m maksimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin tanpa menggunakan silinder pengganggu pada kecepatan 4,4 m/s. Dapat dikatakan bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ efektif mengurangi tekanan di depan *returning blade*. Selisih tekanan di depan dan di belakang *returning blade* akan menurun sehingga *pressure drag* pada *returning blade* menurun, gaya *drag* pada *returning blade* menurun, selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat,

dan C_m turbin meningkat pula. Selain itu, pemberian silinder pengganggu pada $S/D = 2,2$ menyebabkan *boundary layer* pada *returning blade* turbin terganggu, sehingga semakin cepatnya transisi aliran dari laminar menuju turbulen yang menyebabkan kemampuan aliran untuk melawan gaya gesek dan *adverse pressure gradient* semakin besar. Hal ini membuat titik separasi mundur sehingga *wake* yang terbentuk mengecil yang menyebabkan gaya *drag* pada *returning blade* menurun dan selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat. Oleh sebab itu, torsi dan *Coefficient of Moment* turbin meningkat. Pemberian silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin pada posisi $S/D = 2,2$ dan kecepatan angin 4,4 m/s mampu memberikan peningkatan C_m sebesar 26,1%.

4.3.10 *Coefficient of Moment* (C_m) Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu sebagai Fungsi *Tip Speed Ratio* (TSR) pada Kecepatan Angin 5 m/s

Grafik *Coefficient of Moment* turbin angin Savonius sebagai fungsi *Tip Speed Ratio* tanpa dan dengan silinder pengganggu untuk kecepatan angin 5 m/s dapat dilihat pada gambar 4.13 berikut



Gambar 4. 13 Grafik *Coefficient of Moment* (C_m) Turbin Angin Savonius fungsi *Tip Speed Ratio* (TSR) tanpa dan dengan silinder pengganggu pada kecepatan angin 5 m/s

Gambar 4.13 Merupakan grafik *Coefficient of Moment* (C_m) turbin angin Savonius tanpa dan dengan silinder pengganggu pada kecepatan angin 5 m/s. Posisi silinder pengganggu yang digunakan adalah $S/D = 2,2$. Variasi nilai TSR didapatkan dengan memvariasikan massa pemberat yang diberikan hingga didapatkan variasi TSR mulai dari 0 hingga 1,019. Dapat dilihat pada gambar 4.13, grafik memiliki *trendline* nilai C_m yang naik hingga nilai maksimum C_m pada TSR tertentu kemudian turun setelah melewati titik maksimum seiring meningkatnya TSR. Pada turbin angin tanpa diberi pengganggu didapatkan nilai C_m maksimum sebesar 0,138 pada $TSR = 0$. Pada turbin angin dengan silinder pengganggu pada $S/D = 2,2$ didapatkan nilai C_m maksimum sebesar 0,152 pada $TSR = 0$. Peningkatan nilai C_m yang terjadi adalah sebesar 0,014.

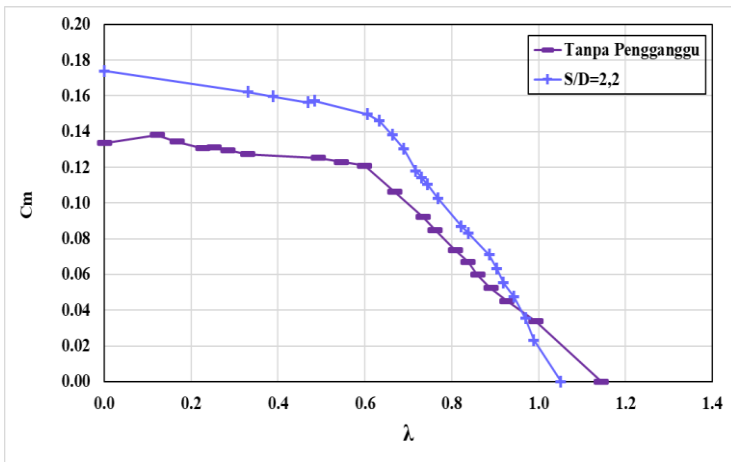
Tabel 4. 11 Perbandingan nilai C_m dan TSR Turbin tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 5 m/s

V = 5 m/s					
Tanpa silinder pengganggu		Dengan Silinder pengganggu		ΔC m	$\Delta C_m/C$ m_{max0}
TSR (λ)	$C_{m_{max0}}$	TSR (λ)	$C_{m_{max}}$		
0	0,138	0	0,152	0.0 14	10,1%

Berdasarkan tabel 4.11, dapat dilihat bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ membuat turbin memiliki nilai C_m maksimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin tanpa menggunakan silinder pengganggu pada kecepatan 5 m/s. Dapat dikatakan bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ efektif mengurangi tekanan di depan *returning blade*. Selisih tekanan di depan dan di belakang *returning blade* akan menurun sehingga *pressure drag* pada *returning blade* menurun, gaya *drag* pada *returning blade* menurun, selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat, dan C_m turbin meningkat pula. Selain itu, pemberian silinder pengganggu pada $S/D = 2,2$ menyebabkan *boundary layer* pada *returning blade* turbin terganggu, sehingga semakin cepatnya transisi aliran dari laminar menuju turbulen yang menyebabkan kemampuan aliran untuk melawan gaya gesek dan *adverse pressure gradient* semakin besar. Hal ini membuat titik separasi mundur sehingga *wake* yang terbentuk mengecil yang menyebabkan gaya *drag* pada *returning blade* menurun dan selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat. Oleh sebab itu, torsi dan *Coefficient of Moment* turbin meningkat. Pemberian silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin pada posisi $S/D = 2,2$ dan kecepatan angin 5 m/s mampu memberikan peningkatan C_m sebesar 10,1%.

4.3.11 *Coefficient of Moment (Cm) Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu sebagai Fungsi Tip Speed Ratio (TSR) pada Kecepatan Angin 6 m/s*

Grafik *Coefficient of Moment* turbin angin Savonius sebagai fungsi *Tip Speed Ratio* tanpa dan dengan silinder pengganggu untuk kecepatan angin 6 m/s dapat dilihat pada gambar 4.14 berikut,



Gambar 4. 14 Grafik *Coefficient of Moment (Cm) Turbin Angin Savonius fungsi Tip Speed Ratio (TSR) tanpa dan dengan silinder pengganggu pada kecepatan angin 6 m/s*

Gambar 4.14 Merupakan grafik *Coefficient of Moment (Cm)* turbin angin Savonius tanpa dan dengan silinder pengganggu pada kecepatan angin 6 m/s. Posisi silinder pengganggu yang digunakan adalah $S/D = 2,2$. Variasi nilai TSR didapatkan dengan memvariasikan massa pemberat yang diberikan hingga didapatkan variasi TSR mulai dari 0 hingga 1,144. Dapat dilihat pada gambar 4.14, grafik memiliki *trendline* nilai C_m yang naik hingga nilai maksimum C_m pada

TSR tertentu kemudian turun setelah melewati titik maksimum seiring meningkatnya TSR. Pada turbin angin tanpa diberi pengganggu didapatkan nilai C_m maksimum sebesar 0,138 pada $TSR = 0,121$. Pada turbin angin dengan silinder pengganggu pada $S/D = 2,2$ didapatkan nilai C_m maksimum sebesar 0,174 pada $TSR = 0$. Peningkatan nilai C_m yang terjadi adalah sebesar 0,036.

Tabel 4. 12 Perbandingan nilai C_m dan TSR Turbin tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 6 m/s

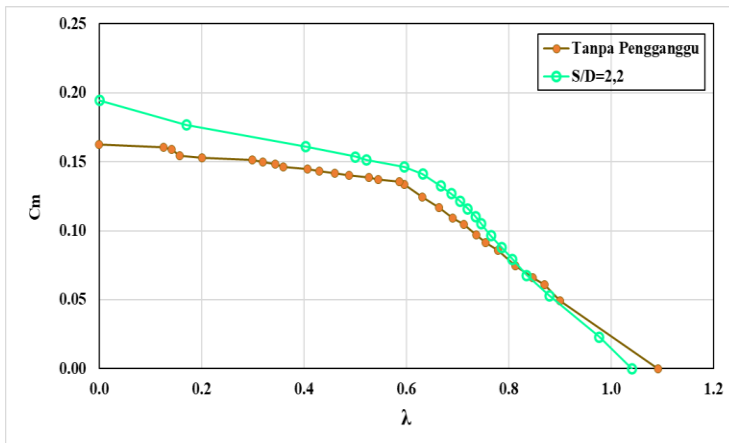
V = 6 m/s					
Tanpa silinder pengganggu		Dengan Silinder pengganggu		ΔC_m	$\Delta C_m / C_{m_{max0}}$
TSR (λ)	$C_{m_{max0}}$	TSR (λ)	$C_{m_{max}}$		
0,121	0,138	0	0.174	0,036	26%

Berdasarkan tabel 4.12, dapat dilihat bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ membuat turbin memiliki nilai C_m maksimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin tanpa menggunakan silinder pengganggu pada kecepatan 6 m/s. Dapat dikatakan bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ efektif mengurangi tekanan di depan *returning blade*. Selisih tekanan di depan dan di belakang *returning blade* akan menurun sehingga *pressure drag* pada *returning blade* menurun, gaya *drag* pada *returning blade* menurun, selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat, dan C_m turbin meningkat pula. Selain itu, pemberian silinder pengganggu pada $S/D = 2,2$ menyebabkan *boundary layer* pada *returning blade* turbin terganggu, sehingga semakin cepatnya transisi aliran dari laminar menuju turbulen yang menyebabkan kemampuan aliran untuk melawan gaya gesek dan *adverse pressure gradient* semakin besar. Hal ini membuat titik separasi mundur sehingga *wake* yang terbentuk mengecil yang

menyebabkan gaya *drag* pada *returning blade* menurun dan selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat. Oleh sebab itu, torsi dan *Coefficient of Moment* turbin meningkat. Pemberian silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin pada posisi $S/D = 2,2$ dan kecepatan angin 6 m/s mampu memberikan peningkatan C_m sebesar 26%.

4.3.12 *Coefficient of Moment* (C_m) Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu sebagai Fungsi *Tip Speed Ratio* (TSR) pada Kecepatan Angin 7 m/s

Grafik *Coefficient of Moment* turbin angin Savonius sebagai fungsi *Tip Speed Ratio* tanpa dan dengan silinder pengganggu untuk kecepatan angin 7 m/s dapat dilihat pada gambar 4.15 berikut



Gambar 4. 15 Grafik *Coefficient of Moment* (C_m) Turbin Angin Savonius fungsi *Tip Speed Ratio* (TSR) tanpa dan dengan silinder pengganggu pada kecepatan angin 7 m/s

Gambar 4.15 Merupakan grafik *Coefficient of Moment* (C_m) turbin angin Savonius tanpa dan dengan silinder pengganggu pada kecepatan angin 7 m/s. Posisi silinder pengganggu yang digunakan adalah $S/D = 2,2$. Variasi nilai TSR didapatkan dengan memvariasikan massa pemberat yang diberikan hingga didapatkan variasi TSR mulai dari 0 hingga 1,092. Dapat dilihat pada gambar 4.15, grafik memiliki *trendline* nilai C_m yang naik hingga nilai maksimum C_m pada TSR tertentu kemudian turun setelah melewati titik maksimum seiring meningkatnya TSR. Pada turbin angin tanpa diberi pengganggu didapatkan nilai C_m maksimum sebesar 0,162 pada $TSR = 0$. Pada turbin angin dengan silinder pengganggu pada $S/D = 2,2$ didapatkan nilai C_m maksimum sebesar 0,195 pada $TSR = 0$. Peningkatan nilai C_m yang terjadi adalah sebesar 0,033.

Tabel 4. 13 Perbandingan nilai C_m dan TSR Turbin tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 7 m/s

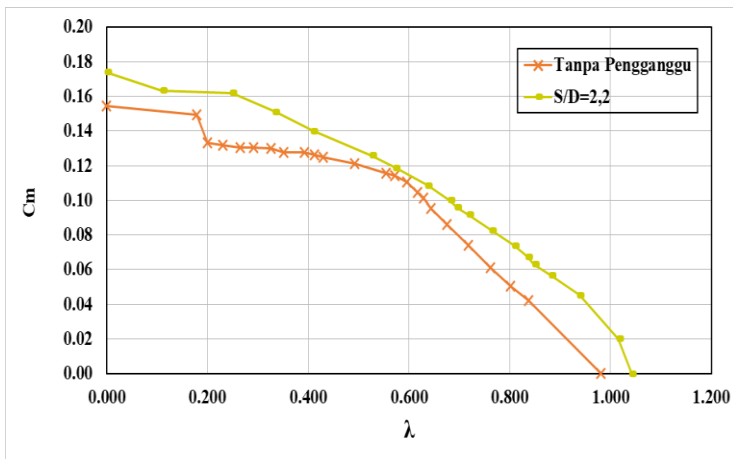
V = 7 m/s					
Tanpa silinder pengganggu		Dengan Silinder pengganggu		ΔC_m	$\Delta C_m/C_{m_{max0}}$
TSR (λ)	$C_{m_{max0}}$	TSR (λ)	$C_{m_{max}}$		
0	0,162	0	0,195	0,033	20,4%

Berdasarkan tabel 4.13, dapat dilihat bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ membuat turbin memiliki nilai C_m maksimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin tanpa menggunakan silinder pengganggu pada kecepatan 7 m/s. Dapat dikatakan bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ efektif mengurangi tekanan di depan *returning blade*. Selisih tekanan di depan dan di belakang *returning blade* akan menurun sehingga *pressure drag* pada *returning blade* menurun, gaya *drag* pada *returning*

blade menurun, selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat, dan C_m turbin meningkat pula. Selain itu, pemberian silinder pengganggu pada $S/D = 2,2$ menyebabkan *boundary layer* pada *returning blade* turbin terganggu, sehingga semakin cepatnya transisi aliran dari laminar menuju turbulen yang menyebabkan kemampuan aliran untuk melawan gaya gesek dan *adverse pressure gradient* semakin besar. Hal ini membuat titik separasi mundur sehingga *wake* yang terbentuk mengecil yang menyebabkan gaya *drag* pada *returning blade* menurun dan selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat. Oleh sebab itu, torsi dan *Coefficient of Moment* turbin meningkat. Pemberian silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin pada posisi $S/D = 2,2$ dan kecepatan angin 7 m/s mampu memberikan peningkatan C_m sebesar 20,4%.

4.3.13 Coefficient of Moment (C_m) Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu sebagai Fungsi Tip Speed Ratio (TSR) pada Kecepatan Angin 8 m/s

Grafik *Coefficient of Moment* turbin angin Savonius sebagai fungsi *Tip Speed Ratio* tanpa dan dengan silinder pengganggu untuk kecepatan angin 8 m/s dapat dilihat pada gambar 4.16 berikut



Gambar 4. 16 Grafik *Coefficient of Moment* (C_m) Turbin Angin Savonius fungsi *Tip Speed Ratio* (TSR) tanpa dan dengan silinder pengganggu pada kecepatan angin 8 m/s

Gambar 4.16 Merupakan grafik *Coefficient of Moment* (C_m) turbin angin Savonius tanpa dan dengan silinder pengganggu pada kecepatan angin 8 m/s. Posisi silinder pengganggu yang digunakan adalah $S/D = 2,2$. Variasi nilai TSR didapatkan dengan memvariasikan massa pemberat yang diberikan hingga didapatkan variasi TSR mulai dari 0 hingga 1,041. Dapat dilihat pada gambar 4.16, grafik memiliki *trendline* nilai C_m yang naik hingga nilai maksimum C_m pada TSR tertentu kemudian turun setelah melewati titik maksimum seiring meningkatnya TSR. Pada turbin angin tanpa diberi pengganggu didapatkan nilai C_m maksimum sebesar 0,155 pada TSR = 0. Pada turbin angin dengan silinder pengganggu pada $S/D = 2,2$ didapatkan nilai C_m maksimum sebesar 0,174 pada TSR = 0. Peningkatan nilai C_m yang terjadi adalah sebesar 0,019.

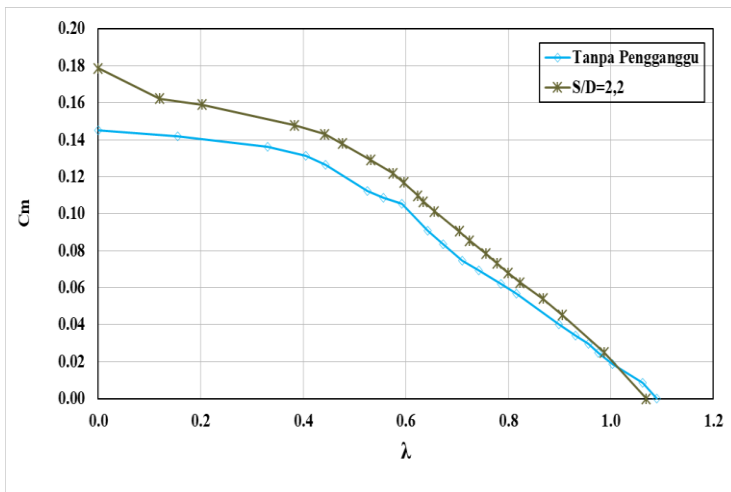
Tabel 4. 14 Perbandingan nilai C_m dan TSR Turbin tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 8 m/s

V = 8 m/s					
Tanpa silinder pengganggu		Dengan Silinder pengganggu		ΔC_m	$\Delta C_m/C_{m_{max0}}$
TSR (λ)	$C_{m_{max0}}$	TSR (λ)	$C_{m_{max}}$		
0	0,155	0	0,174	0,019	12,3%

Berdasarkan tabel 4.14, dapat dilihat bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ membuat turbin memiliki nilai C_m maksimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin tanpa menggunakan silinder pengganggu pada kecepatan 8 m/s. Dapat dikatakan bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ efektif mengurangi tekanan di depan *returning blade*. Selisih tekanan di depan dan di belakang *returning blade* akan menurun sehingga *pressure drag* pada *returning blade* menurun, gaya *drag* pada *returning blade* menurun, selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat, dan C_m turbin meningkat pula. Selain itu, pemberian silinder pengganggu pada $S/D = 2,2$ menyebabkan *boundary layer* pada *returning blade* turbin terganggu, sehingga semakin cepatnya transisi aliran dari laminar menuju turbulen yang menyebabkan kemampuan aliran untuk melawan gaya gesek dan *adverse pressure gradient* semakin besar. Hal ini membuat titik separasi mundur sehingga *wake* yang terbentuk mengecil yang menyebabkan gaya *drag* pada *returning blade* menurun dan selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat. Oleh sebab itu, torsi dan *Coefficient of Moment* turbin meningkat. Pemberian silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin pada posisi $S/D = 2,2$ dan kecepatan angin 8 m/s mampu memberikan peningkatan C_m sebesar 12,3%.

4.3.14 *Coefficient of Moment (Cm)* Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu sebagai Fungsi *Tip Speed Ratio (TSR)* pada Kecepatan Angin 9 m/s

Grafik *Coefficient of Moment* turbin angin Savonius sebagai fungsi *Tip Speed Ratio* tanpa dan dengan silinder pengganggu untuk kecepatan angin 9 m/s dapat dilihat pada gambar 4.17 berikut,



Gambar 4. 17 Grafik *Coefficient of Moment (Cm)* Turbin Angin Savonius fungsi *Tip Speed Ratio (TSR)* tanpa dan dengan silinder pengganggu pada kecepatan angin 9 m/s

Gambar 4.17 Merupakan grafik *Coefficient of Moment (Cm)* turbin angin Savonius tanpa dan dengan silinder pengganggu pada kecepatan angin 9 m/s. Posisi silinder pengganggu yang digunakan adalah $S/D = 2,2$. Variasi nilai TSR didapatkan dengan memvariasikan massa pemberat yang diberikan hingga didapatkan variasi TSR mulai dari 0 hingga 1,089. Dapat dilihat pada gambar 4.17, grafik memiliki *trendline* nilai C_m yang naik hingga nilai maksimum C_m pada

TSR tertentu kemudian turun setelah melewati titik maksimum seiring meningkatnya TSR. Pada turbin angin tanpa diberi pengganggu didapatkan nilai C_m maksimum sebesar 0,145 pada $TSR = 0$. Pada turbin angin dengan silinder pengganggu pada $S/D = 2,2$ didapatkan nilai C_m maksimum sebesar 0,178 pada $TSR = 0$. Peningkatan nilai C_m yang terjadi adalah sebesar 0,033.

Tabel 4. 15 Perbandingan nilai C_m dan TSR Turbin tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 9 m/s

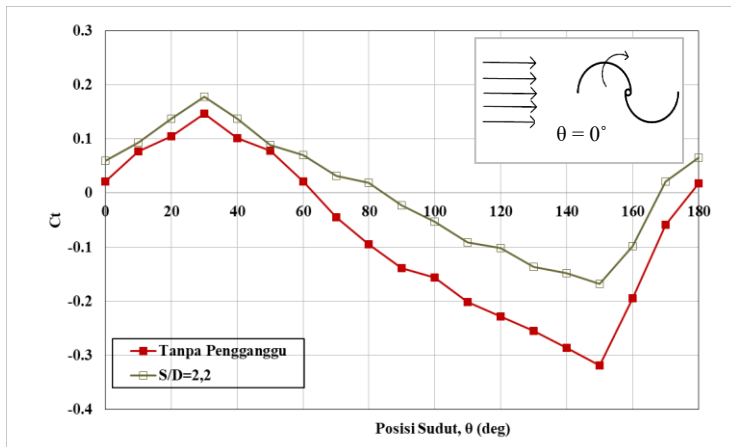
V = 9 m/s					
Tanpa silinder pengganggu		Dengan Silinder pengganggu		ΔC_m m	$\Delta C_m/C_{m_{max0}}$
TSR (λ)	$C_{m_{max0}}$	TSR (λ)	$C_{m_{max}}$		
0	0,145	0	0,178	0,033	22,8%

Berdasarkan tabel 4.15, dapat dilihat bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ membuat turbin memiliki nilai C_m maksimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin tanpa menggunakan silinder pengganggu pada kecepatan 9 m/s. Dapat dikatakan bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ efektif mengurangi tekanan di depan *returning blade*. Selisih tekanan di depan dan di belakang *returning blade* akan menurun sehingga *pressure drag* pada *returning blade* menurun, gaya *drag* pada *returning blade* menurun, selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat, dan C_m turbin meningkat pula. Selain itu, pemberian silinder pengganggu pada $S/D = 2,2$ menyebabkan *boundary layer* pada *returning blade* turbin terganggu, sehingga semakin cepatnya transisi aliran dari laminar menuju turbulen yang menyebabkan kemampuan aliran untuk melawan gaya gesek dan *adverse pressure gradient* semakin besar. Hal ini membuat titik

separasi mundur sehingga *wake* yang terbentuk mengecil yang menyebabkan gaya *drag* pada *returning blade* menurun dan selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat. Oleh sebab itu, torsi dan *Coefficient of Moment* turbin meningkat. Pemberian silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin pada posisi $S/D = 2,2$ dan kecepatan angin 9 m/s mampu memberikan peningkatan C_m sebesar 22,8%.

4.3.15 Perbandingan *Coefficient of Static Torque* Turbin Angin Savonius Terhadap Posisi Sudut *Blade* tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 3,8 m/s

Grafik *Coefficient of Static Torque* turbin angin Savonius terhadap posisi sudut *blade* turbin tanpa dan dengan silinder pengganggu untuk kecepatan angin 3,8 m/s dapat dilihat pada gambar 4.18 berikut,



Gambar 4. 18 Grafik Perbandingan *Coefficient of Static Torque* Turbin Angin Savonius terhadap Posisi Sudut *Blade* tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 3,8 m/s

Variasi nilai sudut pada penelitian ini adalah 0° hingga 180° dengan kenaikan 10° . Dapat dilihat pada gambar 4.18 bahwa grafik mempunyai *trendline* berbentuk sinusoidal. Grafik mengalami kenaikan hingga nilai maksimum C_t pada sudut tertentu kemudian turun setelah melewati nilai maksimumnya hingga mencapai nilai C_t minimum. Setelah itu, grafik kembali mengalami kenaikan hingga sudut terakhir. Turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu memiliki nilai *Coefficient of Static Torque* maksimum sebesar 0,146 pada sudut 30° dan *Coefficient of Static Torque* minimum sebesar $-0,318$ pada sudut 150° . Turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ memiliki nilai *Coefficient of Static Torque* maksimum sebesar 0,178 pada sudut 30° dan *Coefficient of Static Torque* minimum sebesar $-0,168$ pada sudut 150° .

Dapat dilihat pada gambar 4.18 bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ membuat turbin memiliki nilai *Coefficient of Static Torque* maksimum dan nilai torsi minimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin tanpa menggunakan silinder pengganggu pada kecepatan angin 3,8 m/s. Dapat dikatakan bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ efektif mengurangi tekanan di depan *returning blade*. Selisih tekanan di depan dan di belakang *returning blade* akan menurun sehingga *pressure drag* pada *returning blade* menurun, gaya *drag* pada *returning blade* menurun, selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat, dan C_t turbin meningkat pula. Selain itu, pemberian silinder pengganggu pada $S/D = 2,2$ menyebabkan *boundary layer* pada *returning blade* turbin terganggu, sehingga semakin cepatnya transisi aliran dari laminar menuju turbulen yang menyebabkan kemampuan aliran untuk melawan gaya gesek dan *adverse pressure gradient* semakin besar. Hal ini membuat titik separasi mundur sehingga *wake* yang terbentuk mengecil yang menyebabkan gaya *drag* pada *returning blade* menurun dan

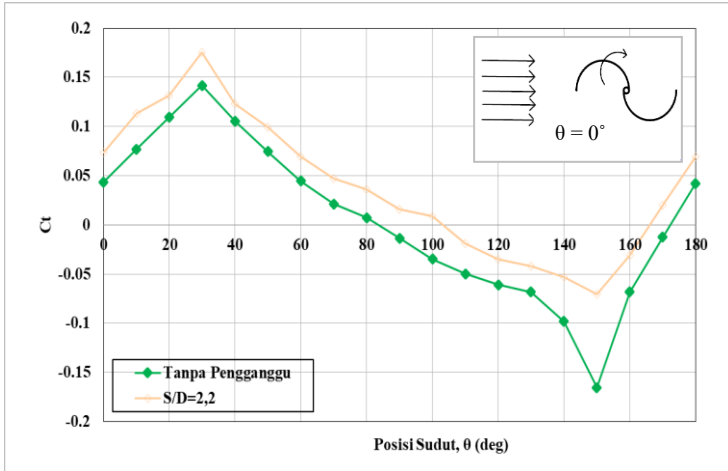
selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat. Oleh sebab itu, *Coefficient of Static Torque* turbin meningkat.

Turbin tanpa silinder pengganggu memiliki *Coefficient of Static Torque* bernilai negatif pada sudut 70° hingga 170° . Turbin dengan silinder pengganggu memiliki nilai *Coefficient of Static Torque* bernilai negatif pada sudut 90° hingga 160° . Hal ini menunjukkan bahwa pada posisi turbin tersebut *advancing blade* turbin menerima gaya *drag* lebih rendah dibandingkan *returning blade* turbin, sehingga turbin tidak memiliki kemampuan *self starting*. Oleh sebab itu, agar turbin dapat berputar dari keadaan diam, gaya dari luar perlu diberikan kepada turbin. Peletakkan silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin pada posisi $S/D = 2,2$ terbukti efektif meningkatkan *Coefficient of Static Torque* turbin pada kecepatan angin $3,8$ m/s, dibuktikan dengan nilai *Coefficient of Static Torque* yang cenderung semakin mendekati nol dibandingkan turbin tanpa menggunakan silinder pengganggu.

4.3.16 Perbandingan *Coefficient of Static Torque* Turbin Angin Savonius Terhadap Posisi Sudut *Blade* tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin $4,4$ m/s

Grafik *Coefficient of Static Torque* turbin angin Savonius terhadap posisi sudut *blade* turbin tanpa dan dengan

silinder pengganggu untuk kecepatan angin 4,4 m/s dapat dilihat pada gambar 4.19 berikut,



Gambar 4. 19 Grafik Perbandingan *Coefficient of Static Torque* Turbin Angin Savonius terhadap Posisi Sudut *Blade* tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 4,4 m/s

Variasi nilai sudut pada penelitian ini adalah 0° hingga 180° dengan kenaikan 10° . Dapat dilihat pada gambar 4.19 bahwa grafik mempunyai *trendline* berbentuk sinusoidal. Grafik mengalami kenaikan hingga nilai maksimum C_t pada sudut tertentu kemudian turun setelah melewati nilai maksimumnya hingga mencapai nilai C_t minimum. Setelah itu, grafik kembali mengalami kenaikan hingga sudut terakhir. Turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu memiliki nilai *Coefficient of Static Torque* maksimum sebesar 0,142 pada sudut 30° dan *Coefficient of Static Torque* minimum sebesar -0,165 pada sudut 150° . Turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ memiliki nilai *Coefficient of Static Torque* maksimum sebesar 0,175 pada

sudut 30° dan *Coefficient of Static Torque* minimum sebesar -0,071 pada sudut 150° .

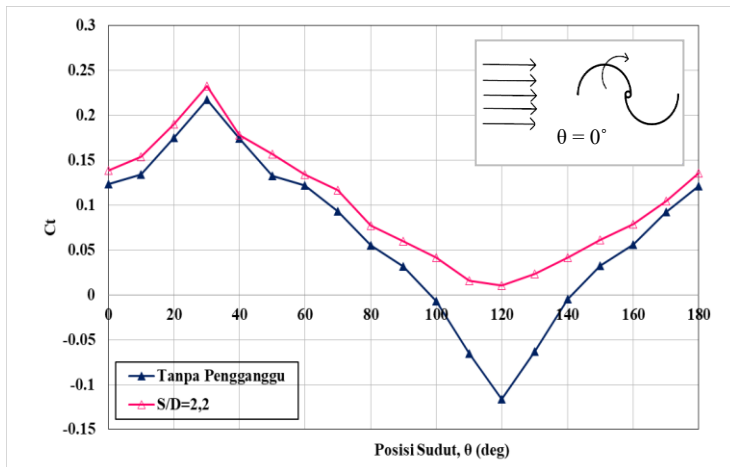
Dapat dilihat pada gambar 4.19 bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ membuat turbin memiliki nilai *Coefficient of Static Torque* maksimum dan nilai torsi minimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin tanpa menggunakan silinder pengganggu pada kecepatan angin 4,4 m/s. Dapat dikatakan bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ efektif mengurangi tekanan di depan *returning blade*. Selisih tekanan di depan dan di belakang *returning blade* akan menurun sehingga *pressure drag* pada *returning blade* menurun, gaya *drag* pada *returning blade* menurun, selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat, dan C_t turbin meningkat pula. Selain itu, pemberian silinder pengganggu pada $S/D = 2,2$ menyebabkan *boundary layer* pada *returning blade* turbin terganggu, sehingga semakin cepatnya transisi aliran dari laminar menuju turbulen yang menyebabkan kemampuan aliran untuk melawan gaya gesek dan *adverse pressure gradient* semakin besar. Hal ini membuat titik separasi mundur sehingga *wake* yang terbentuk mengecil yang menyebabkan gaya *drag* pada *returning blade* menurun dan selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat. Oleh sebab itu, *Coefficient of Static Torque* turbin meningkat.

Turbin tanpa silinder pengganggu memiliki *Coefficient of Static Torque* bernilai negatif pada sudut 90° hingga 170° . Turbin dengan silinder pengganggu memiliki nilai *Coefficient of Static Torque* bernilai negatif pada sudut 110° hingga 160° . Hal ini menunjukkan bahwa pada posisi turbin tersebut *advancing blade* turbin menerima gaya *drag* lebih rendah dibandingkan *returning blade* turbin, sehingga turbin tidak memiliki kemampuan *self starting*. Oleh sebab itu, agar turbin dapat berputar dari keadaan diam, gaya dari luar perlu diberikan kepada turbin. Peletakkan silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin pada posisi $S/D = 2,2$ terbukti efektif meningkatkan *Coefficient of Static Torque* turbin pada

kecepatan angin 4,4 m/s, dibuktikan dengan nilai *Coefficient of Static Torque* yang cenderung semakin mendekati nol dibandingkan turbin tanpa menggunakan silinder pengganggu.

4.3.17 Perbandingan *Coefficient of Static Torque* Turbin Angin Savonius Terhadap Posisi Sudut *Blade* tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 5 m/s

Grafik *Coefficient of Static Torque* turbin angin Savonius terhadap posisi sudut *blade* turbin tanpa dan dengan silinder pengganggu untuk kecepatan angin 5 m/s dapat dilihat pada gambar 4.20 berikut,



Gambar 4. 20 Grafik Perbandingan *Coefficient of Static Torque* Turbin Angin Savonius terhadap Posisi Sudut *Blade* tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 5 m/s

Variasi nilai sudut pada penelitian ini adalah 0° hingga 180° dengan kenaikan 10° . Dapat dilihat pada gambar 4.20 bahwa grafik mempunyai *trendline* berbentuk sinusoidal. Grafik mengalami kenaikan hingga nilai maksimum C_t pada

sudut tertentu kemudia turun setelah melewati nilai maksimumnya hingga mencapai nilai C_t minimum. Setelah itu, grafik kembali mengalami kenaikan hingga sudut terakhir. Turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu memiliki nilai *Coefficient of Static Torque* maksimum sebesar 0,217 pada sudut 30° dan *Coefficient of Static Torque* minimum sebesar -0,116 pada sudut 120° . Turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ memiliki nilai *Coefficient of Static Torque* maksimum sebesar 0,233 pada sudut 30° dan *Coefficient of Static Torque* minimum sebesar 0,010 pada sudut 120° .

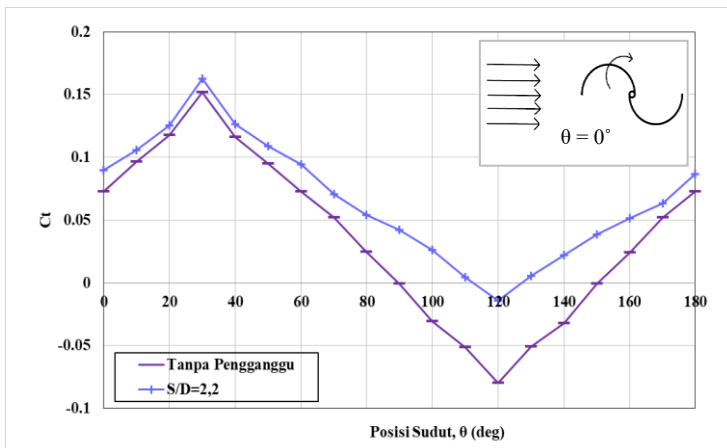
Dapat dilihat pada gambar 4.20 bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ membuat turbin memiliki nilai *Coefficient of Static Torque* maksimum dan nilai torsi minimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin tanpa menggunakan silinder pengganggu pada kecepatan angin 5 m/s. Dapat dikatakan bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ efektif mengurangi tekanan di depan *returning blade*. Selisih tekanan di depan dan di belakang *returning blade* akan menurun sehingga *pressure drag* pada *returning blade* menurun, gaya *drag* pada *returning blade* menurun, selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat, dan C_t turbin meningkat pula. Selain itu, pemberian silinder pengganggu pada $S/D = 2,2$ menyebabkan *boundary layer* pada *returning blade* turbin terganggu, sehingga semakin cepatnya transisi aliran dari laminar menuju turbulen yang menyebabkan kemampuan aliran untuk melawan gaya gesek dan *adverse pressure gradient* semakin besar. Hal ini membuat titik separasi mundur sehingga *wake* yang terbentuk mengecil yang menyebabkan gaya *drag* pada *returning blade* menurun dan selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat. Oleh sebab itu, *Coefficient of Static Torque* turbin meningkat.

Turbin tanpa silinder pengganggu memiliki *Coefficient of Static Torque* bernilai negatif pada sudut 100° hingga 140° .

Hal ini menunjukkan bahwa pada posisi turbin tersebut *advancing blade* turbin menerima gaya *drag* lebih rendah dibandingkan *returning blade* turbin, sehingga turbin tidak memiliki kemampuan *self starting*. Oleh sebab itu, agar turbin dapat berputar dari keadaan diam, gaya dari luar perlu diberikan kepada turbin. Peletakkan silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin pada posisi $S/D = 2,2$ terbukti efektif memperbaiki kemampuan *self starting* turbin pada kecepatan angin 5 m/s, dibuktikan dengan *Coefficient of Static Torque* yang bernilai positif pada semua posisi sudut turbin.

4.3.18 Perbandingan *Coefficient of Static Torque* Turbin Angin Savonius Terhadap Posisi Sudut *Blade* tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 6 m/s

Grafik *Coefficient of Static Torque* turbin angin Savonius terhadap posisi sudut *blade* turbin tanpa dan dengan silinder pengganggu untuk kecepatan angin 6 m/s dapat dilihat pada gambar 4.21 berikut,



Gambar 4. 21 Grafik Perbandingan *Coefficient of Static Torque* Turbin Angin Savonius terhadap Posisi Sudut *Blade* tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 6 m/s

Variasi nilai sudut pada penelitian ini adalah 0° hingga 180° dengan kenaikan 10° . Dapat dilihat pada gambar 4.21 bahwa grafik mempunyai *trendline* berbentuk sinusoidal. Grafik mengalami kenaikan hingga nilai maksimum C_t pada sudut tertentu kemudian turun setelah melewati nilai maksimumnya hingga mencapai nilai C_t minimum. Setelah itu, grafik kembali mengalami kenaikan hingga sudut terakhir. Turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu memiliki nilai *Coefficient of Static Torque* maksimum sebesar 0,152 pada sudut 30° dan *Coefficient of Static Torque* minimum sebesar -0,079 pada sudut 120° . Turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ memiliki nilai *Coefficient of Static Torque* maksimum sebesar 0,162 pada sudut 30° dan *Coefficient of Static Torque* minimum sebesar -0,014 pada sudut 120° .

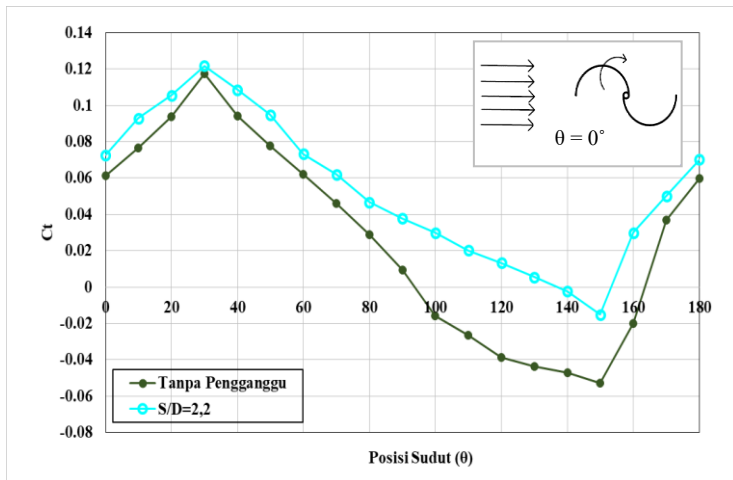
Dapat dilihat pada gambar 4.21 bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ membuat turbin memiliki nilai *Coefficient of Static Torque* maksimum dan nilai torsi minimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin tanpa menggunakan silinder pengganggu pada kecepatan angin 6 m/s. Dapat dikatakan bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ efektif mengurangi tekanan di depan *returning blade*. Selisih tekanan di depan dan di belakang *returning blade* akan menurun sehingga *pressure drag* pada *returning blade* menurun, gaya *drag* pada *returning blade* menurun, selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat, dan C_t turbin meningkat pula. Selain itu, pemberian silinder pengganggu pada $S/D = 2,2$ menyebabkan *boundary layer* pada *returning blade* turbin terganggu, sehingga semakin cepatnya transisi aliran dari laminar menuju turbulen yang menyebabkan kemampuan aliran untuk melawan gaya gesek dan *adverse pressure gradient* semakin besar. Hal ini membuat titik separasi mundur sehingga *wake* yang terbentuk mengecil yang menyebabkan gaya *drag* pada *returning blade* menurun dan

selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat. Oleh sebab itu, *Coefficient of Static Torque* turbin meningkat.

Turbin tanpa silinder pengganggu memiliki *Coefficient of Static Torque* bernilai negatif pada sudut 90° hingga 150° . Turbin dengan silinder pengganggu memiliki *Coefficient of Static Torque* bernilai negatif pada sudut 120° . Hal ini menunjukkan bahwa pada posisi turbin tersebut *advancing blade* turbin menerima gaya *drag* lebih rendah dibandingkan *returning blade* turbin, sehingga turbin tidak memiliki kemampuan *self starting*. Oleh sebab itu, agar turbin dapat berputar dari keadaan diam, gaya dari luar perlu diberikan kepada turbin. Peletakkan silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin pada posisi $S/D = 2,2$ terbukti efektif meningkatkan *Coefficient of Static Torque* turbin pada kecepatan angin $4,4$ m/s, dibuktikan dengan nilai *Coefficient of Static Torque* yang cenderung semakin mendekati nol dibandingkan turbin tanpa menggunakan silinder pengganggu.

4.3.19 Perbandingan *Coefficient of Static Torque* Turbin Angin Savonius Terhadap Posisi Sudut *Blade* tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada kecepatan angin 7 m/s

Grafik *Coefficient of Static Torque* turbin angin Savonius terhadap posisi sudut *blade* turbin tanpa dan dengan silinder pengganggu untuk kecepatan angin 7 m/s dapat dilihat pada gambar 4.22 berikut,



Gambar 4. 22 Grafik Perbandingan *Coefficient of Static Torque* Turbin Angin Savonius terhadap Posisi Sudut *Blade* tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 7 m/s

Variasi nilai sudut pada penelitian ini adalah 0° hingga 180° dengan kenaikan 10° . Dapat dilihat pada gambar 4.22 bahwa grafik mempunyai *trendline* berbentuk sinusoidal. Grafik mengalami kenaikan hingga nilai maksimum C_t pada sudut tertentu kemudian turun setelah melewati nilai maksimumnya hingga mencapai nilai C_t minimum. Setelah itu, grafik kembali mengalami kenaikan hingga sudut terakhir. Turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu memiliki nilai *Coefficient of Static Torque* maksimum sebesar 0,117 pada sudut 30° dan *Coefficient of Static Torque* minimum sebesar -0,053 pada sudut 150° . Turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada posisi S/D = 2,2 memiliki nilai *Coefficient of Static Torque* maksimum sebesar 0,122 pada sudut 30° dan *Coefficient of Static Torque* minimum sebesar -0,0152 pada sudut 150° .

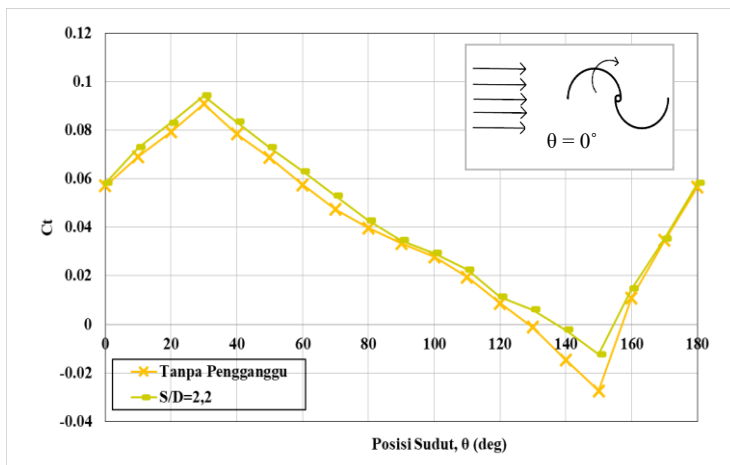
Dapat dilihat pada gambar 4.22 bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ membuat turbin memiliki nilai *Coefficient of Static Torque* maksimum dan nilai torsi minimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin tanpa menggunakan silinder pengganggu pada kecepatan angin 7 m/s. Dapat dikatakan bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ efektif mengurangi tekanan di depan *returning blade*. Selisih tekanan di depan dan di belakang *returning blade* akan menurun sehingga *pressure drag* pada *returning blade* menurun, gaya *drag* pada *returning blade* menurun, selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat, dan C_t turbin meningkat pula. Selain itu, pemberian silinder pengganggu pada $S/D = 2,2$ menyebabkan *boundary layer* pada *returning blade* turbin terganggu, sehingga semakin cepatnya transisi aliran dari laminar menuju turbulen yang menyebabkan kemampuan aliran untuk melawan gaya gesek dan *adverse pressure gradient* semakin besar. Hal ini membuat titik separasi mundur sehingga *wake* yang terbentuk mengecil yang menyebabkan gaya *drag* pada *returning blade* menurun dan selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat. Oleh sebab itu, *Coefficient of Static Torque* turbin meningkat.

Turbin tanpa silinder pengganggu memiliki *Coefficient of Static Torque* bernilai negatif pada sudut 120° hingga 160° . Turbin dengan silinder pengganggu memiliki *Coefficient of Static Torque* bernilai negatif pada sudut 130° hingga 150° . Hal ini menunjukkan bahwa pada posisi turbin tersebut *advancing blade* turbin menerima gaya *drag* lebih rendah dibandingkan *returning blade* turbin, sehingga turbin tidak memiliki kemampuan *self starting*. Oleh sebab itu, agar turbin dapat berputar dari keadaan diam, gaya dari luar perlu diberikan kepada turbin. Peletakkan silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin pada posisi $S/D = 2,2$ terbukti efektif meningkatkan *Coefficient of Static Torque* turbin pada kecepatan angin 4,4 m/s, dibuktikan dengan nilai *Coefficient of*

Static Torque yang cenderung semakin mendekati nol dibandingkan turbin tanpa menggunakan silinder pengganggu.

4.3.20 Perbandingan *Coefficient of Static Torque* Turbin Angin Savonius Terhadap Posisi Sudut *Blade* tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada kecepatan angin 8 m/s

Grafik *Coefficient of Static Torque* turbin angin Savonius terhadap posisi sudut *blade* turbin tanpa dan dengan silinder pengganggu untuk kecepatan angin 8 m/s dapat dilihat pada gambar 4.23 berikut,



Gambar 4. 23 Grafik Perbandingan *Coefficient of Static Torque* Turbin Angin Savonius Terhadap Posisi Sudut *Blade* tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 8 m/s

Variasi nilai sudut pada penelitian ini adalah 0° hingga 180° dengan kenaikan 10° . Dapat dilihat pada gambar 4.23 bahwa grafik mempunyai *trendline* berbentuk sinusoidal. Grafik mengalami kenaikan hingga nilai maksimum C_t pada sudut tertentu kemudia turun setelah melewati nilai maksimumnya hingga mencapai nilai C_t minimum. Setelah itu,

grafik kembali mengalami kenaikan hingga sudut terakhir. Turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu memiliki nilai *Coefficient of Static Torque* maksimum sebesar 0,091 pada sudut 30° dan *Coefficient of Static Torque* minimum sebesar -0,027 pada sudut 150° . Turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ memiliki nilai *Coefficient of Static Torque* maksimum sebesar 0,094 pada sudut 30° dan *Coefficient of Static Torque* minimum sebesar -0,012 pada sudut 150° .

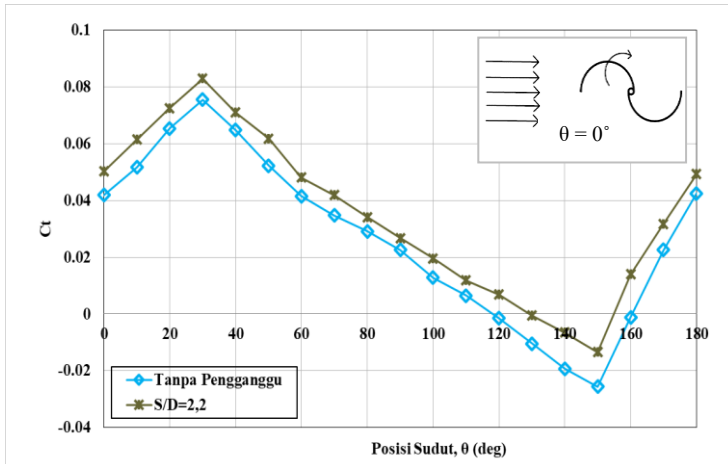
Dapat dilihat pada gambar 4.23 bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ membuat turbin memiliki nilai *Coefficient of Static Torque* maksimum dan nilai torsi minimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin tanpa menggunakan silinder pengganggu pada kecepatan angin 8 m/s. Dapat dikatakan bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ efektif mengurangi tekanan di depan *returning blade*. Selisih tekanan di depan dan di belakang *returning blade* akan menurun sehingga *pressure drag* pada *returning blade* menurun, gaya *drag* pada *returning blade* menurun, selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat, dan C_t turbin meningkat pula. Selain itu, pemberian silinder pengganggu pada $S/D = 2,2$ menyebabkan *boundary layer* pada *returning blade* turbin terganggu, sehingga semakin cepatnya transisi aliran dari laminar menuju turbulen yang menyebabkan kemampuan aliran untuk melawan gaya gesek dan *adverse pressure gradient* semakin besar. Hal ini membuat titik separasi mundur sehingga *wake* yang terbentuk mengecil yang menyebabkan gaya *drag* pada *returning blade* menurun dan selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat. Oleh sebab itu, *Coefficient of Static Torque* turbin meningkat.

Turbin tanpa silinder pengganggu memiliki *Coefficient of Static Torque* bernilai negatif pada sudut 70° hingga 170° . Turbin dengan silinder pengganggu memiliki *Coefficient of Static Torque* bernilai negatif pada sudut 90° hingga 160° . Hal

ini menunjukkan bahwa pada posisi turbin tersebut *advancing blade* turbin menerima gaya *drag* lebih rendah dibandingkan *returning blade* turbin, sehingga turbin tidak memiliki kemampuan *self starting*. Oleh sebab itu, agar turbin dapat berputar dari keadaan diam, gaya dari luar perlu diberikan kepada turbin. Peletakkan silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin pada posisi $S/D = 2,2$ terbukti efektif meningkatkan *Coefficient of Static Torque* turbin pada kecepatan angin 4,4 m/s, dibuktikan dengan nilai *Coefficient of Static Torque* yang cenderung semakin mendekati nol dibandingkan turbin tanpa menggunakan silinder pengganggu.

4.3.21 Perbandingan *Coefficient of Static Torque* Turbin Angin Savonius Terhadap Posisi Sudut *Blade* tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada kecepatan angin 9 m/s

Grafik *Coefficient of Static Torque* turbin angin Savonius terhadap posisi sudut *blade* turbin tanpa dan dengan silinder pengganggu untuk kecepatan angin 9 m/s dapat dilihat pada gambar 4.24 berikut,



Gambar 4. 24 Grafik Perbandingan *Coefficient of Static Torque* Turbin Angin Savonius terhadap Posisi Sudut *Blade* tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 9 m/s

Variasi nilai sudut pada penelitian ini adalah 0° hingga 180° dengan kenaikan 10° . Dapat dilihat pada gambar 4.24 bahwa grafik mempunyai *trendline* berbentuk sinusoidal. Grafik mengalami kenaikan hingga nilai maksimum C_t pada sudut tertentu kemudian turun setelah melewati nilai maksimumnya hingga mencapai nilai C_t minimum. Setelah itu, grafik kembali mengalami kenaikan hingga sudut terakhir. Turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu memiliki nilai *Coefficient of Static Torque* maksimum sebesar 0,075 pada sudut 30° dan *Coefficient of Static Torque* minimum sebesar -0,025 pada sudut 150° . Turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ memiliki nilai *Coefficient of Static Torque* maksimum sebesar 0,083 pada sudut 30° dan *Coefficient of Static Torque* minimum sebesar -0,013 pada sudut 150° .

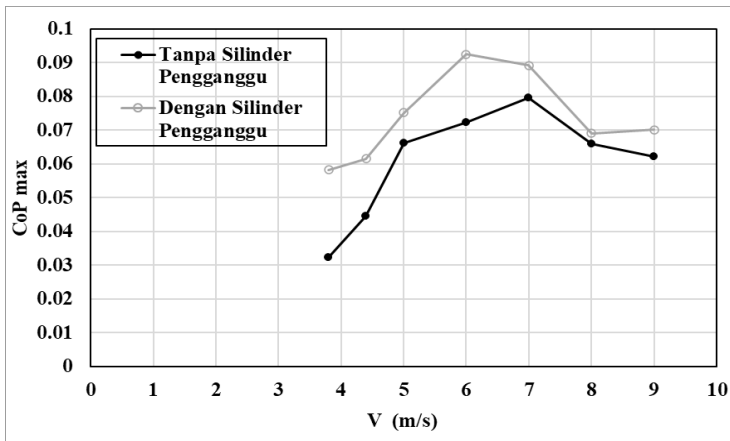
Dapat dilihat pada gambar 4.24 bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ membuat turbin memiliki nilai *Coefficient of Static Torque* maksimum dan nilai torsi minimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin tanpa menggunakan silinder pengganggu pada kecepatan angin 9 m/s. Dapat dikatakan bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ efektif mengurangi tekanan di depan *returning blade*. Selisih tekanan di depan dan di belakang *returning blade* akan menurun sehingga *pressure drag* pada *returning blade* menurun, gaya *drag* pada *returning blade* menurun, selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat, dan C_t turbin meningkat pula. Selain itu, pemberian silinder pengganggu pada $S/D = 2,2$ menyebabkan *boundary layer* pada *returning blade* turbin terganggu, sehingga semakin cepatnya transisi aliran dari laminar menuju turbulen yang menyebabkan kemampuan aliran untuk melawan gaya gesek dan *adverse pressure gradient* semakin besar. Hal ini membuat titik separasi mundur sehingga *wake* yang terbentuk mengecil yang menyebabkan gaya *drag* pada *returning blade* menurun dan selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat. Oleh sebab itu, *Coefficient of Static Torque* turbin meningkat.

Turbin tanpa silinder pengganggu memiliki *Coefficient of Static Torque* bernilai negatif pada sudut 90° hingga 170° . Turbin dengan silinder pengganggu memiliki *Coefficient of Static Torque* bernilai negatif pada sudut 110° hingga 160° . Hal ini menunjukkan bahwa pada posisi turbin tersebut *advancing blade* turbin menerima gaya *drag* lebih rendah dibandingkan *returning blade* turbin, sehingga turbin tidak memiliki kemampuan *self starting*. Oleh sebab itu, agar turbin dapat berputar dari keadaan diam, gaya dari luar perlu diberikan kepada turbin. Peletakkan silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin pada posisi $S/D = 2,2$ terbukti efektif meningkatkan *Coefficient of Static Torque* turbin pada kecepatan angin 4,4 m/s, dibuktikan dengan nilai *Coefficient of*

Static Torque yang cenderung semakin mendekati nol dibandingkan turbin tanpa menggunakan silinder pengganggu.

4.3.22 Perbandingan *Coefficient of Power* (CoP) maksimum Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu sebagai Fungsi Kecepatan Angin

Grafik *Coefficient of Power* maksimum turbin angin Savonius sebagai fungsi kecepatan angin tanpa dan dengan silinder pengganggu dapat dilihat pada gambar 4.25 berikut,



Gambar 4. 25 Grafik Perbandingan *Coefficient of Power* (CoP) maksimum turbin angin Savonius tanpa dan dengan silinder pengganggu sebagai fungsi kecepatan angin

Gambar 4.25 menunjukkan perbandingan nilai *Coefficient of Power* (CoP) turbin angin Savonius tanpa dan dengan silinder pengganggu sebagai fungsi kecepatan angin. Pada turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu, nilai CoP maksimum terbesar terdapat pada kecepatan angin sebesar 7 m/s yaitu sebesar 0,0797 dan turbin dengan silinder pengganggu memiliki CoP maksimum terbesar pada kecepatan angin 6 m/s yaitu sebesar 0,0925. Pada turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu, nilai CoP maksimum terbesar

terdapat pada kecepatan angin 6 m/s yaitu sebesar 0,0925. Pada penelitian menggunakan kecepatan angin 3,8 m/s, turbin tanpa silinder pengganggu memiliki CoP maksimum sebesar 0,0323 dan turbin dengan silinder pengganggu memiliki CoP maksimum sebesar 0,0582. Pada penelitian menggunakan kecepatan angin 4,4 m/s, turbin tanpa silinder pengganggu memiliki CoP maksimum sebesar 0,0445 dan turbin dengan silinder pengganggu memiliki CoP maksimum sebesar 0,0615. Pada penelitian menggunakan kecepatan angin 5 m/s, turbin tanpa silinder pengganggu memiliki CoP maksimum sebesar 0,0661 dan turbin dengan silinder pengganggu memiliki CoP maksimum sebesar 0,0752. Pada kecepatan angin 6 m/s, CoP maksimum turbin tanpa pengganggu adalah 0,0724 dan turbin dengan silinder pengganggu memiliki CoP maksimum sebesar 0,0925. Pada kecepatan angin 7 m/s, CoP maksimum turbin tanpa pengganggu adalah 0,0797 dan turbin dengan silinder pengganggu memiliki CoP maksimum sebesar 0,0892. Pada kecepatan angin 8 m/s, CoP maksimum turbin tanpa pengganggu adalah 0,0660 dan turbin dengan silinder pengganggu memiliki CoP maksimum sebesar 0,0691. Pada kecepatan angin 9 m/s, CoP maksimum turbin adalah 0,0623 dan turbin dengan silinder pengganggu memiliki CoP maksimum sebesar 0,0701.

Kedua grafik CoP pada gambar 4.25 menunjukkan bahwa performa turbin angin Savonius tanpa dan dengan silinder pengganggu akan meningkat hingga kecepatan angin optimal kemudian akan turun setelah melewati kecepatan angin optimalnya. Turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu bekerja paling optimal pada kecepatan angin 7 m/s, sedangkan turbin dengan silinder pengganggu bekerja paling optimal pada kecepatan angin 6 m/s. Pada penelitian ini terdapat kecepatan angin optimum untuk menghasilkan CoP maksimum karena semakin besar kecepatan angin maka semakin besar gaya *drag* pada *advancing blade* sehingga semakin besar kecepatan putar turbin sekaligus semakin besarnya nilai CoP. Pada kecepatan

yang lebih tinggi, semakin besar pula kerugian mekanis yang dialami turbin sehingga terjadi penurunan nilai CoP setelah melewati titik maksimum CoP.

Berdasarkan gambar 4.25 dapat dilihat juga bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ membuat turbin memiliki nilai CoP maksimum yang lebih tinggi pada setiap kecepatan angin dibandingkan dengan turbin tanpa menggunakan silinder pengganggu. Dapat dikatakan bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$ efektif mengurangi tekanan di depan *returning blade*. Selisih tekanan di depan dan di belakang *returning blade* akan menurun sehingga *pressure drag* pada *returning blade* menurun, gaya *drag* pada *returning blade* menurun, selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat, dan CoP turbin meningkat pula. Selain itu, pemberian silinder pengganggu pada $S/D = 2,2$ menyebabkan *boundary layer* pada *returning blade* turbin terganggu, sehingga semakin cepatnya transisi aliran dari laminar menuju turbulen yang menyebabkan kemampuan aliran untuk melawan gaya gesek dan *adverse pressure gradient* semakin besar. Hal ini membuat titik separasi mundur sehingga *wake* yang terbentuk mengecil yang menyebabkan gaya *drag* pada *returning blade* menurun dan selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat. Oleh sebab itu, torsi dan *Coefficient of Performance* turbin meningkat.

4.4 Analisis Rasio *Coefficient of Power* (CoP) Turbin Angin Savonius dengan dan tanpa Dengan Silinder Pengganggu (CoP_{max}/CoP_{0max}) sebagai Fungsi Kecepatan Angin

Penelitian untuk meningkatkan performa turbin telah dilakukan sebelumnya oleh **Lazuardhi Rahim Yamin (2019)** dengan parameter $y/D = 0,5$; $d/D = 0,1$; $0,2$; $0,3$; $0,4$; $0,5$; $0,6$; $0,7$; $0,8$; $0,9$; $1,0$; $S/D = 2,2$; $Re = 9,7 \times 10^4$ (5 m/s) dan $13,6 \times 10^4$ (7 m/s). Turbin Angin Savonius yang digunakan pada penelitian tersebut memiliki parameter yang sama dengan

penelitian yang sedang dilakukan. Hasil dari penelitian tersebut dibandingkan dengan penelitian yang sedang dilakukan untuk melihat apakah terjadi peningkatan ataupun penurunan hasil yang didapatkan. Perbandingan hasil penelitian dilakukan pada parameter $y/D = 0,5$; $d/D = 0,5$; $S/D = 2,2$ pada kecepatan angin 5 m/s dan 7 m/s. Berikut adalah tabel rasio *Coefficient of Power* (CoP) turbin angin Savonius dengan dan tanpa dengan silinder pengganggu (CoP_{max}/CoP_{0max}) sebagai fungsi kecepatan angin pada penelitian yang dilakukan oleh Lazuardi Rahim Yamin dan penelitian yang sedang dilakukan,

Tabel 4. 16 Tabel rasio Coefficient of Power (CoP) turbin angin Savonius dengan dan tanpa dengan silinder pengganggu (CoP_{max}/CoP_{0max}) sebagai fungsi kecepatan angin pada penelitian yang dilakukan oleh Lazuardi Rahim Yamin dan penelitian yang sedang dilakukan

V (m/s)	Cop _{max} / CoP _{0max}		$\Delta Cop_{max} / CoP_{0max}$
	Penelitian Lazuardi Rahim Yamin	Penelitian yang Sedang Dilakukan	
5	1,386	1,139	21,69 %
7	1,302	1,117	16,56 %

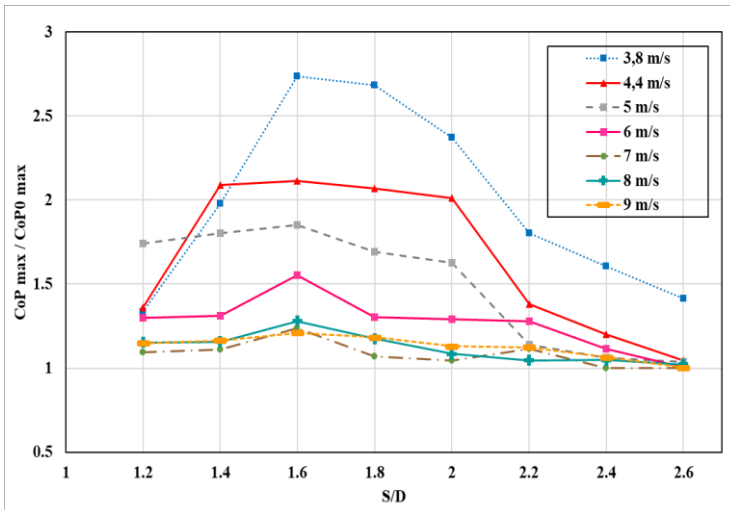
Dapat dilihat pada tabel 4.16, bahwa kedua hasil penelitian mengalami penurunan nilai CoP_{max}/CoP_{0max} dari kecepatan 5 m/s ke 7 m/s. Turbin pada penelitian yang sedang dilakukan memiliki nilai CoP_{max}/CoP_{0max} sebesar 1,138 pada kecepatan angin 5 m/s dan memiliki nilai CoP_{max}/CoP_{0max} sebesar 1,117 pada kecepatan angin 7 m/s. Turbin pada penelitian Lazuardi Rahim Yamin memiliki nilai CoP_{max}/CoP_{0max} sebesar 1,386 pada kecepatan angin 5 m/s dan memiliki nilai CoP_{max}/CoP_{0max} sebesar 1,301 pada kecepatan angin 7 m/s. Dapat dilihat juga pada tabel 4.16

bahwa kedua hasil penelitian memiliki nilai $CoP_{max}/CoP_{0\ max}$ maksimum pada kecepatan angin 5 m/s. Penelitian yang sedang dilakukan memiliki $CoP_{max}/CoP_{0\ max}$ yang nilainya mengalami penurunan sebesar 0,248 pada kecepatan angin 5 m/s dan sebesar 0,185 pada kecepatan angin 7 m/s.

Berdasarkan tabel 4.16, dapat dilihat bahwa hasil penelitian Lazuardi Rahim Yamin memiliki nilai $CoP_{max}/CoP_{0\ max}$ yang lebih besar dibanding hasil penelitian yang sedang dilakukan untuk kecepatan angin 5 m/s dan 7 m/s. Hal ini dapat terjadi karena *bearing* pada poros turbin yang digunakan pada penelitian yang sedang dilakukan tidak memiliki kualitas yang baik. *Bearing* pada turbin berfungsi untuk mengurangi gaya gesek rotasional dan menahan beban radial dan beban aksial yang dialami turbin angin Savonius. Semakin lama *bearing* bekerja, semakin berkurang kemampuan *bearing* untuk mengurangi gaya gesek rotasional yang dialami poros turbin dan menahan beban radial serta beban aksial. Kualitas *bearing* yang tidak baik membuatnya semakin cepat mengalami pengurangan kemampuan tersebut. Gaya gesek yang semakin besar pada poros turbin menyebabkan berkurangnya kecepatan putar turbin (n) yang sekaligus mengurangi *Coefficient of Power* (CoP) sesuai dengan persamaan $C_p = g r \pi n |m - s| / 15 \rho A v^3$. Kerugian terhadap nilai CoP turbin ini mengurangi peningkatan nilai CoP turbin akibat penempatan silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,2$, sehingga $CoP_{max}/CoP_{0\ max}$ yang dihasilkan menjadi lebih kecil. Selain itu, kedua grafik juga menunjukkan bahwa turbin memiliki nilai maksimal $CoP_{max}/CoP_{0\ max}$ pada kecepatan angin 5 m/s. Hal ini menunjukkan bahwa turbin pada kedua penelitian mengalami kerugian lebih kecil pada kecepatan angin 5 m/s dibandingkan pada kecepatan angin 7 m/s.

4.5 Analisis Rasio *Coefficient of Power* (CoP) Turbin Angin Savonius dengan dan tanpa Dengan Silinder Pengganggu ($CoP_{max}/CoP_{0\ max}$) sebagai Fungsi $S/D = 1,2 - 2,6$

Analisis dilakukan untuk mengetahui posisi peletakkan silinder pengganggu yang paling efektif meningkatkan performa turbin angin Savonius. Analisis dilakukan dengan menggabungkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (**Bagas Ramadhan Ananto, 2020**), (**Suksmatatya Paramesti, 2020**), (**Festy Merbasari Mahardina, 2020**), (**Elza Lisdarina, 2020**), (**Vega Nabila Arif, 2020**), (**Dionisius Jeremia, 2020**) (**Michael Lawrence Budihartono, 2020**), (**Afiyah Shuhufam M, 2020**). Penelitian yang dilakukan oleh Bagas Ramadhan Ananto dilakukan pada $S/D = 1,2$, oleh Suksmatatya Paramesti pada $S/D = 1,4$, oleh Festy Merbasari Mahardina pada $S/D = 1,6$, oleh Elza Lisdarina pada $S/D = 1,8$, oleh Vega Nabila Arif pada $S/D = 2,0$, oleh Dionisius Jeremia pada $S/D = 2,2$, oleh Michael Lawrence Budihartono pada $S/D = 2,4$, oleh Afiyah Shuhufam M pada $S/D = 2,6$.



Gambar 4. 26 Grafik Rasio *Coefficient of Power* (CoP) Turbin Angin Savonius dengan dan tanpa dengan Silinder Pengganggu ($CoP_{max}/CoP_{0\ max}$) sebagai Fungsi $S/D = 1,2 - 2,6$

Gambar 4.26 menunjukkan grafik rasio nilai *Coefficient of Power* turbin angin Savonius dengan dan tanpa dengan silinder pengganggu ($CoP_{max}/CoP_{0\ max}$) pada tujuh variasi kecepatan angin. Pada grafik pada kecepatan angin 3,8 m/s dapat dilihat bahwa grafik mengalami peningkatan nilai hingga pada $S/D = 1,6$, kemudian mengalami penurunan nilai hingga $S/D = 2,6$. Nilai ($CoP_{max}/CoP_{0\ max}$) tertinggi berada pada $S/D = 1,6$ dengan nilai ($CoP_{max}/CoP_{0\ max}$) sebesar 2,737. Pada grafik pada kecepatan angin 4,4 m/s dapat dilihat bahwa grafik mengalami peningkatan nilai hingga pada $S/D = 1,6$, kemudian mengalami penurunan nilai hingga $S/D = 2,6$. Nilai ($CoP_{max}/CoP_{0\ max}$) tertinggi berada pada $S/D = 1,6$ dengan nilai ($CoP_{max}/CoP_{0\ max}$) sebesar 2,115. Pada grafik pada kecepatan angin 5 m/s dapat dilihat bahwa grafik mengalami

peningkatan nilai hingga pada $S/D = 1,6$, kemudian mengalami penurunan nilai hingga $S/D = 2,6$. Nilai (CoP_{max}/CoP_{0max}) tertinggi berada pada $S/D = 1,6$ dengan nilai (CoP_{max}/CoP_{0max}) sebesar 1,853. Pada grafik pada kecepatan angin 6 m/s dapat dilihat bahwa grafik mengalami peningkatan nilai hingga pada $S/D = 1,6$, kemudian mengalami penurunan nilai hingga $S/D = 2,6$. Nilai (CoP_{max}/CoP_{0max}) tertinggi berada pada $S/D = 1,6$ dengan nilai (CoP_{max}/CoP_{0max}) sebesar 1,554. Pada grafik pada kecepatan angin 7 m/s dapat dilihat bahwa grafik mengalami peningkatan nilai hingga pada $S/D = 1,6$, kemudian mengalami penurunan nilai hingga $S/D = 2,6$. Nilai (CoP_{max}/CoP_{0max}) tertinggi berada pada $S/D = 1,6$ dengan nilai (CoP_{max}/CoP_{0max}) sebesar 1,237. Pada grafik pada kecepatan angin 8 m/s dapat dilihat bahwa grafik mengalami peningkatan nilai hingga pada $S/D = 1,6$, kemudian mengalami penurunan nilai hingga $S/D = 2,6$. Nilai (CoP_{max}/CoP_{0max}) tertinggi berada pada $S/D = 1,6$ dengan nilai (CoP_{max}/CoP_{0max}) sebesar 1,280. Pada grafik pada kecepatan angin 9 m/s dapat dilihat bahwa grafik mengalami peningkatan nilai hingga pada $S/D = 1,6$, kemudian mengalami penurunan nilai hingga $S/D = 2,6$. Nilai (CoP_{max}/CoP_{0max}) tertinggi berada pada $S/D = 1,6$ dengan nilai (CoP_{max}/CoP_{0max}) sebesar 1,210.

Gambar 4.26 juga menunjukkan bahwa pada kecepatan angin 3,8 m/s hingga 9 m/s, turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu di posisi $S/D = 1,2$ hingga 2,6 memiliki nilai (CoP_{max}/CoP_{0max}) lebih besar dari satu, sehingga dapat dikatakan bahwa penempatan silinder pengganggu di depan *returning blade* terbukti mampu meningkatkan *performance* turbin angin Savonius. Dapat dilihat pada gambar 4.26 bahwa semakin besar nilai S/D , nilai (CoP_{max}/CoP_{0max}) cenderung mendekati satu. Hal ini dapat terjadi, diduga karena pada penempatan silinder pengganggu (S/D) yang semakin jauh, silinder pengganggu dan turbin menjadi dua benda yang berdiri sendiri tanpa saling mempengaruhi. Kondisi ini membuat

keberadaan silinder pengganggu tidak mempengaruhi kinerja turbin angin Savonius.

Dapat dilihat pada gambar 4.26 bahwa pada kecepatan angin rendah, peningkatan nilai *Coefficient of Power* turbin semakin besar, dibuktikan dengan nilai $(CoP_{max}/CoP_{0 max})$ sebesar 2,74 pada kecepatan angin 3,8 m/s dengan penempatan silinder pada $S/D = 1,6$ dan nilai $(CoP_{max}/CoP_{0 max})$ sebesar 1,21 pada kecepatan angin 9 m/s dengan penempatan silinder pada $S/D = 1,6$. Hal ini dapat terjadi karena diduga angin berkecepatan rendah paling efektif mengurangi tekanan di depan *returning blade* turbin. Selisih tekanan di depan dan di belakang *returning blade* akan menurun sehingga *pressure drag* pada *returning blade* menurun, gaya *drag* pada *returning blade* menurun, selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat, dan *CoP* turbin meningkat pula. Selain itu, kecepatan angin 3,8 m/s diduga paling efektif menyebabkan *boundary layer* pada *returning blade* turbin terganggu, sehingga semakin cepatnya transisi aliran dari laminar menuju turbulen yang menyebabkan kemampuan aliran untuk melawan gaya gesek dan *adverse pressure gradient* semakin besar. Hal ini membuat titik separasi mundur sehingga *wake* yang terbentuk mengecil yang menyebabkan gaya *drag* pada *returning blade* menurun dan selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat. Oleh sebab itu, torsi dan *Coefficient of Performance* turbin meningkat.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian untuk meningkatkan performa turbin angin Savonius dengan menempatkan silinder pengganggu berukuran $d/D = 0,5$; pada posisi $y/D = 0,5$; dengan jarak $S/D = 2,2$ pada variasi kecepatan angin 3,8 m/s, 4,4 m/s, 5 m/s, 6 m/s, 7 m/s, 8 m/s, 9 m/s memiliki kesimpulan sebagai berikut:

1. Penempatan silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin pada posisi $S/D = 2,2$ efektif meningkatkan *Coefficient of Power* turbin angin Savonius pada kecepatan angin 3,8 m/s hingga 9 m/s, dibuktikan dengan terjadinya peningkatan nilai *Coefficient of Power* maksimum turbin untuk semua variasi kecepatan angin. Peningkatan nilai *Coefficient of Power* terbesar turbin terdapat pada kecepatan angin 3,8 m/s, yaitu sebesar 80,5%
2. Penempatan silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin pada posisi $S/D = 2,2$ efektif meningkatkan *Coefficient of Moment* turbin angin Savonius pada kecepatan angin 3,8 m/s hingga 9 m/s, dibuktikan dengan terjadinya peningkatan nilai *Coefficient of Moment* maksimum turbin untuk semua variasi kecepatan angin. Peningkatan nilai *Coefficient of Moment* terbesar turbin terdapat pada kecepatan angin 4,4 m/s, yaitu sebesar 26,15%.
3. Penempatan silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin pada posisi $S/D = 2,2$ efektif meningkatkan kemampuan *self starting* turbin pada kecepatan angin 3,8 m/s hingga 9 m/s, dibuktikan dengan nilai *Coefficient of Static Torque* yang

cenderung semakin mendekati nol dibandingkan turbin tanpa menggunakan silinder pengganggu.

4. Penempatan silinder pengganggu di depan *returning blade* pada posisi $S/D = 1,6$ yang dialiri angin berkecepatan 3,8 m/s memiliki peningkatan nilai *Coefficient of Power* maksimum terbesar, yaitu sebesar 173%

5.2 Saran

Adapun saran yang daiberikan untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan dengan menggunakan *bearing* dengan kualitas yang tinggi
2. Alat ukur penelitian digunakan dan disimpan dengan benar agar tidak rusak
3. Menggunakan neraca pegas dengan ketelitian lebih tinggi agar pembacaan lebih akurat

DAFTAR PUSTAKA

1. Akwa, J. V., Horácio A. V., dan Adriane P. P.. 2012. “**A review on the performance of Savonius wind turbines**”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (2012) 3054-3064.
2. Altan, B.D., Mehmet A. , dan Aydoğan Ö.. 2008. “**An experimental study on improvement of a Savonius rotor performance with curtaining**”. *Experimental Thermal and Fluid Science* 32 (2008) 1673-1678.
3. Ambrosio, M. Megdalia, M. 2010. “**Vertical Axis Wind Turbines : History, Technology and Applications**”. Swedia: Jonny Hylander and Goran Siden.
4. Arinaldo, Deon, Julius C. A., dan Pamela S.. 2018. “**Indonesia Clean Energy Outlook Reviewing 2018, Outlooking 2019**”. Institute for Essential Services Reform
5. Fox, R. W., et. all. 2011. “**Introduction to Fluid Mechanics**”. 8th penyunt. USA: John Willey & Sons Inc..
6. International Renewable Energy Agency.2019. “**Global energy transformation: A roadmap to 2050 (2019 edition)**”. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.
7. Kamoji, M. A., S.B. Kedare, dan S.V. Prabhu. 2008. “**Experimental investigations on single stage modified Savonius rotor**”. *Applied Energy* 86 (2009) 1064-1073.

8. Mahmoud, N. H. et. all. 2012. **“An experimental study on improvement of Savonius rotor performance”**. Alexandria Engineering Journal (2012) 51, 19-25.
9. Martosaputro, Soeripno, dan Nila Murti. 2014. **“Blowing the Wind Energy in Indonesia”**. Energy Procedia 47 (2014) 273-282.
10. Mudjahidin, F. A. A.. 2019. **Studi Eksperimen Peningkatan Kinerja Turbin Angin Savonius Dengan Penempatan Silinder Sirkular di Depan Returning Blade Turbin “Studi Kasus untuk Ukuran Silinder Pengganggu $d/D = 0,5$; $y/D = 0,5$; $S/D = 2,0$; $2,2$; $2,4$; $2,6$; $2,8$ Bilangan Reynolds = 96000, 134000, dan 173000”**. Surabaya: ICT.
11. Sakti, G., Yuwono T., dan Widodo, W. A.. 2019. **“Experimental and Numerical Investigation of I-65° Type Cylinder Effect on the Savonius Wind Turbin Performance”**. International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering IJMME-IJENS Vol:19 No:05 (2019) 115-125

LAMPIRAN

A. Data Hasil Eksperimen Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Kecepatan Angin 3,8 m/s; 4,4 m/s; 5 m/s; 6 m/s; 7 m/s; 8 m/s dan 9 m/s.

Tabel A.1 Data hasil experimen turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu pada $V = 3.8 \text{ m/s}$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	Cm
28.5	189	19.803	0	0	1.17	0.805	0.0000	0.0000	0
28.5	173	18.148	24	50	1.17	0.738	0.0032	0.0199	0.026957
28.5	158	16.503	30.2	70	1.17	0.671	0.0050	0.0277	0.041264
28.5	136	14.278	36.4	90	1.17	0.581	0.0067	0.0323	0.055572
28.5	108	11.284	39.5	100	1.17	0.459	0.0075	0.0288	0.062726
28.5	74	7.741	45.7	120	1.17	0.315	0.0092	0.0242	0.077034
28.5	53	5.505	48.8	130	1.17	0.224	0.0101	0.0188	0.084187
28.5	41	4.303	51.9	140	1.17	0.175	0.0110	0.0160	0.091341
28.5	0	0.000	55	150	1.17	0.000	0.0118	0.0000	0.098495

Tabel A.2 Data hasil experimen turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu pada $V = 4.4 \text{ m/s}$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	226	23.673	0	0	1.17	0.831	0.0000	0.0000	0
28.5	204	21.385	19	70	1.17	0.751	0.0063	0.0296	0.039439
28.5	194	20.267	25.2	90	1.17	0.712	0.0081	0.0357	0.05011
28.5	179	18.770	31.4	110	1.17	0.659	0.0098	0.0401	0.060782
28.5	163	17.051	43.8	140	1.17	0.599	0.0120	0.0445	0.074392
28.5	147	15.438	56.2	160	1.17	0.542	0.0129	0.0435	0.080269
28.5	135	14.099	68.6	180	1.17	0.495	0.0139	0.0426	0.086147
28.5	118	12.391	81	200	1.17	0.435	0.0148	0.0400	0.092024
28.5	102	10.630	93.4	220	1.17	0.373	0.0158	0.0365	0.097901
28.5	85	8.943	105.8	240	1.17	0.314	0.0167	0.0326	0.103778
28.5	78	8.184	118.2	260	1.17	0.287	0.0177	0.0315	0.109655
28.5	65	6.845	130.6	280	1.17	0.240	0.0186	0.0278	0.115532
28.5	57	5.980	143	300	1.17	0.210	0.0195	0.0255	0.12141
28.5	48	5.041	155.4	320	1.17	0.177	0.0205	0.0225	0.127287
28.5	33	3.502	180.2	350	1.17	0.123	0.0211	0.0161	0.131308
28.5	0	0.000	192.6	360	1.17	0.000	0.0208	0.0000	0.129452

Tabel A.3 Data hasil experiment turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu pada $V = 5 \text{ m/s}$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	252	26.376	0	0	1.17	0.815	0.0000	0.0000	0
28.5	241.4	25.267	19	80	1.17	0.781	0.0076	0.0285	0.03653
28.5	222.4	23.278	31.4	130	1.17	0.719	0.0123	0.0425	0.059047
28.5	211.2	22.106	43.8	170	1.17	0.683	0.0157	0.0516	0.075575
28.5	207.4	21.708	50	190	1.17	0.671	0.0174	0.0562	0.083839
28.5	199.4	20.871	56.2	210	1.17	0.645	0.0191	0.0594	0.092103
28.5	194.4	20.347	62.4	230	1.17	0.629	0.0209	0.0631	0.100367
28.5	188	19.677	68.6	250	1.17	0.608	0.0226	0.0661	0.108631
28.5	172.8	18.086	81	270	1.17	0.559	0.0235	0.0633	0.113183
28.5	162.4	16.998	93.4	290	1.17	0.525	0.0245	0.0618	0.117734
28.5	152.8	15.993	105.8	310	1.17	0.494	0.0254	0.0604	0.122285
28.5	143.8	15.051	118.2	330	1.17	0.465	0.0264	0.0590	0.126837
28.5	139.6	14.611	130.6	340	1.17	0.451	0.0261	0.0566	0.125399
28.5	131.8	13.795	143	360	1.17	0.426	0.0270	0.0554	0.129951
28.5	122	12.769	155.4	370	1.17	0.395	0.0267	0.0507	0.128513
28.5	102	10.676	167.8	380	1.17	0.330	0.0264	0.0419	0.127076
28.5	89.6	9.378	180.2	390	1.17	0.290	0.0261	0.0364	0.125639
28.5	81.8	8.562	192.6	400	1.17	0.265	0.0258	0.0329	0.124202
28.5	71.2	7.452	205	410	1.17	0.230	0.0255	0.0283	0.122764
28.5	49.2	5.150	217.4	440	1.17	0.159	0.0277	0.0212	0.133304
28.5	0	0.000	229.8	460	1.17	0.000	0.0287	0.0000	0.137855

Tabel A.4 Data hasil experiment turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu pada $V = 6 \text{ m/s}$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	424	44.424	0	0	1.17	1.144	0.0000	0.0000	0
28.5	369	38.582	19	100	1.17	0.993	0.0101	0.0335	0.033685
28.5	344	35.978	31.4	140	1.17	0.926	0.0135	0.0418	0.045163
28.5	330	34.554	43.8	170	1.17	0.890	0.0157	0.0467	0.052483
28.5	319	33.363	56.2	200	1.17	0.859	0.0179	0.0514	0.059802
28.5	311	32.509	68.6	230	1.17	0.837	0.0201	0.0562	0.067121
28.5	300	31.402	93.4	270	1.17	0.809	0.0220	0.0594	0.073442
28.5	282	29.567	105.8	310	1.17	0.761	0.0254	0.0647	0.08492
28.5	272	28.492	118.2	340	1.17	0.734	0.0276	0.0677	0.09224
28.5	248	25.972	124.4	380	1.17	0.669	0.0318	0.0711	0.106296
28.5	222	23.262	149.2	440	1.17	0.599	0.0362	0.0724	0.120935
28.5	202	21.185	174	470	1.17	0.546	0.0368	0.0671	0.123097
28.5	183	19.118	198.8	500	1.17	0.492	0.0375	0.0617	0.12526
28.5	122	12.770	223.6	530	1.17	0.329	0.0381	0.0419	0.127422
28.5	105	11.020	248.4	560	1.17	0.284	0.0388	0.0368	0.129585
28.5	94	9.818	294.9	610	1.17	0.253	0.0392	0.0331	0.13104
28.5	84	8.806	325.9	640	1.17	0.227	0.0391	0.0296	0.130624
28.5	62	6.475	356.9	680	1.17	0.167	0.0402	0.0224	0.134367
28.5	45	4.704	387.9	720	1.17	0.121	0.0413	0.0167	0.13811
28.5	0	0.000	418.9	740	1.17	0.000	0.0400	0.0000	0.133535

Tabel A.5 Data hasil experiment turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu pada $V = 7 \text{ m/s}$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	473	49.485	0	0	1.17	1.092	0.0000	0.0000	0
28.5	390	40.797	19	180	1.17	0.900	0.0200	0.0443	0.049191
28.5	376	39.394	31.4	230	1.17	0.869	0.0247	0.0528	0.060679
28.5	367	38.403	43.8	260	1.17	0.848	0.0269	0.0560	0.066057
28.5	352	36.864	56.2	300	1.17	0.814	0.0304	0.0606	0.07449
28.5	337	35.282	68.6	350	1.17	0.779	0.0350	0.0670	0.085978
28.5	327	34.196	81	380	1.17	0.755	0.0372	0.0690	0.091355
28.5	319	33.384	93.4	410	1.17	0.737	0.0394	0.0713	0.096733
28.5	308	32.256	118.2	460	1.17	0.712	0.0426	0.0743	0.104432
28.5	299	31.296	143	500	1.17	0.691	0.0444	0.0753	0.109076
28.5	287	30.063	167.8	550	1.17	0.664	0.0476	0.0775	0.116776
28.5	273	28.576	192.6	600	1.17	0.631	0.0507	0.0785	0.124475
28.5	258	26.984	242.2	680	1.17	0.596	0.0545	0.0797	0.133764
28.5	254	26.562	267	710	1.17	0.586	0.0551	0.0794	0.135352
28.5	236	24.696	291.8	740	1.17	0.545	0.0558	0.0746	0.136941
28.5	228	23.884	316.6	770	1.17	0.527	0.0564	0.0730	0.13853
28.5	211	22.133	341.4	800	1.17	0.489	0.0571	0.0685	0.140119
28.5	199	20.837	366.2	830	1.17	0.460	0.0577	0.0652	0.141708
28.5	186	19.497	391	860	1.17	0.430	0.0584	0.0617	0.143296
28.5	176	18.422	415.8	890	1.17	0.407	0.0590	0.0589	0.144885
28.5	156	16.292	440.6	920	1.17	0.360	0.0597	0.0527	0.146474
28.5	149	15.564	465.4	950	1.17	0.344	0.0603	0.0509	0.148063
28.5	138	14.478	490.2	980	1.17	0.320	0.0610	0.0478	0.149652
28.5	129	13.529	515	1010	1.17	0.299	0.0616	0.0452	0.15124
28.5	87	9.122	539.8	1040	1.17	0.201	0.0623	0.0308	0.152829
28.5	68	7.150	564.6	1070	1.17	0.158	0.0629	0.0244	0.154418
28.5	61	6.423	589.4	1110	1.17	0.142	0.0648	0.0225	0.159062
28.5	54	5.695	614.2	1140	1.17	0.126	0.0655	0.0202	0.160651
28.5	0	0.000	639	1170	1.17	0.000	0.0661	0.0000	0.16224

Tabel A.6 Data hasil experiment turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu pada $V = 8 \text{ m/s}$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	485	50.782	0	0	1.17	0.981	0.0000	0.0000	0
28.5	415	43.390	19	200	1.17	0.838	0.0225	0.0355	0.042341
28.5	396	41.492	43.8	260	1.17	0.801	0.0269	0.0405	0.050575
28.5	377	39.457	68.6	330	1.17	0.762	0.0325	0.0466	0.061148
28.5	355	37.190	93.4	410	1.17	0.718	0.0394	0.0532	0.074061
28.5	334	34.997	143	510	1.17	0.676	0.0457	0.0580	0.085851
28.5	318	33.331	192.6	600	1.17	0.644	0.0507	0.0613	0.095301
28.5	311	32.583	217.4	650	1.17	0.629	0.0539	0.0637	0.101196
28.5	305	31.961	242.2	690	1.17	0.617	0.0557	0.0647	0.104752
28.5	295	30.864	267	740	1.17	0.596	0.0589	0.0660	0.110647
28.5	283	29.641	291.8	780	1.17	0.572	0.0608	0.0654	0.114203
28.5	274	28.692	316.6	810	1.17	0.554	0.0614	0.0640	0.115419
28.5	243	25.465	391	910	1.17	0.492	0.0646	0.0597	0.121408
28.5	213	22.249	465.4	1000	1.17	0.430	0.0666	0.0537	0.125057
28.5	204	21.364	490.2	1030	1.17	0.413	0.0672	0.0521	0.126273
28.5	195	20.362	515	1060	1.17	0.393	0.0678	0.0501	0.12749
28.5	174	18.179	614.2	1160	1.17	0.351	0.0679	0.0448	0.127677
28.5	161	16.893	663.8	1220	1.17	0.326	0.0692	0.0424	0.13011
28.5	145	15.132	763	1320	1.17	0.292	0.0693	0.0381	0.130297
28.5	131	13.709	862.2	1420	1.17	0.265	0.0694	0.0345	0.130484
28.5	114	11.916	986.2	1550	1.17	0.230	0.0702	0.0304	0.131887
28.5	99	10.366	1110.2	1680	1.17	0.200	0.0709	0.0267	0.133291
28.5	88	9.249	1172.2	1810	1.17	0.179	0.0794	0.0266	0.149198
28.5	0	0.000	1239.2	1900	1.17	0.000	0.0823	0.0000	0.154578

Tabel A.7 Data hasil experiment turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu pada $V = 9 \text{ m/s}$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	606	63.445	0	0	1.17	1.089	0.0000	0.0000	0
28.5	591	61.885	24	70	1.17	1.062	0.0057	0.0090	0.008502
28.5	558	58.447	39.5	140	1.17	1.003	0.0125	0.0186	0.018575
28.5	543	56.834	55	190	1.17	0.976	0.0168	0.0243	0.024952
28.5	532	55.727	70.5	230	1.17	0.957	0.0199	0.0282	0.02948
28.5	519	54.272	86	270	1.17	0.932	0.0229	0.0317	0.034009
28.5	500	52.342	101.5	320	1.17	0.899	0.0272	0.0363	0.040385
28.5	454	47.524	132.5	440	1.17	0.816	0.0383	0.0464	0.056835
28.5	437	45.773	163.5	500	1.17	0.786	0.0419	0.0489	0.062195
28.5	413	43.222	225.5	600	1.17	0.742	0.0466	0.0514	0.069219
28.5	396	41.398	256.5	660	1.17	0.711	0.0502	0.0530	0.074579
28.5	374	39.183	287.5	740	1.17	0.673	0.0563	0.0563	0.083636
28.5	358	37.465	318.5	810	1.17	0.643	0.0612	0.0584	0.090844
28.5	329	34.481	380.5	950	1.17	0.592	0.0709	0.0623	0.105261
28.5	310	32.403	411.5	1000	1.17	0.556	0.0733	0.0605	0.108773
28.5	292	30.569	442.5	1050	1.17	0.525	0.0756	0.0589	0.112284
28.5	247	25.845	566.5	1250	1.17	0.444	0.0851	0.0560	0.126332
28.5	225	23.567	659.5	1370	1.17	0.405	0.0884	0.0531	0.131322
28.5	184	19.234	752.5	1490	1.17	0.330	0.0918	0.0450	0.136312
28.5	87	9.080	783.5	1550	1.17	0.156	0.0954	0.0221	0.141673
28.5	0	0.000	814.5	1600	1.17	0.000	0.0978	0.0000	0.145184

Tabel A.8 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 3.8 \text{ m/s}$, S/D 1.2

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	199.0754	20.837	0	0	1.17	0.847171	0	0	0
28.5	146.7913	15.364	24	80	1.17	0.624674	0.006971	0.036269	0.05806
28.5	117.8789	12.338	27.1	110	1.17	0.501637	0.01032	0.043116	0.08595
28.5	109.4	11.451	30.2	120	1.17	0.465555	0.011179	0.043345	0.093104
28.5	103.6746	10.851	36.4	130	1.17	0.44119	0.011652	0.042815	0.097044
28.5	92.5932	9.691	42.6	140	1.17	0.394033	0.012125	0.039791	0.100983
28.5	82.11624	8.595	48.8	150	1.17	0.349448	0.012598	0.036665	0.104923
28.5	68.4156	7.161	55	160	1.17	0.291144	0.013071	0.031695	0.108863
28.5	61.3638	6.423	61.2	170	1.17	0.261135	0.013544	0.029457	0.112803
28.5	54.312	5.684656	67.4	180	1.17	0.231126	0.014017	0.026982	0.116743
28.5	48.56982	5.083641	73.6	190	1.17	0.20669	0.014491	0.024944	0.120682
28.5	36.58176	3.828891	98.4	220	1.17	0.155675	0.015138	0.019826	0.126074
28.5	0	0	110.8	240	1.17	0	0.016084	0	#DIV/0!

Tabel A.9 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 4.4 \text{ m/s}$, $S/D 1.2$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	245.4158	25.687	0	0	1.17	0.901959	0	0	0
28.5	208.2427	21.796	24	100	1.17	0.765339	0.009461	0.04498	0.058771
28.5	196.5569	20.573	36.4	130	1.17	0.722391	0.011652	0.052288	0.072382
28.5	189.7066	19.856	48.8	150	1.17	0.697215	0.012598	0.054563	0.078259
28.5	172.0771	18.011	61.2	180	1.17	0.632422	0.014789	0.0581	0.091869
28.5	164.4208	17.209	73.6	200	1.17	0.604284	0.015735	0.059066	0.097746
28.5	152.7023	15.983	86	230	1.17	0.561216	0.017926	0.062495	0.111357
28.5	136.8181	14.320	98.4	250	1.17	0.502837	0.018873	0.058949	0.117234
28.5	126.4418	13.234	110.8	270	1.17	0.464702	0.019819	0.05721	0.123111
28.5	111.8345	11.70535	123.2	290	1.17	0.411017	0.020765	0.053016	0.128988
28.5	89.77248	9.396186	135.6	310	1.17	0.329934	0.021711	0.044497	0.134865
28.5	71.53854	7.487701	148	330	1.17	0.26292	0.022657	0.037004	0.140742
28.5	53.50608	5.600303	160.4	350	1.17	0.196647	0.023603	0.028832	0.146619
28.5	0	0	172.8	360	1.17	0	0.023304	0	#DIV/0!

Tabel A.10 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 5 \text{ m/s}$, $S/D 1.2$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	359.3527	37.612	0	0	1.17	1.162219	0	0	0
28.5	322.6834	33.774	24	120	1.17	1.043623	0.011951	0.059997	0.05749
28.5	313.2138	32.783	36.4	150	1.17	1.012996	0.014142	0.068914	0.068029
28.5	297.4984	31.138	48.8	190	1.17	0.962169	0.017578	0.081359	0.084558
28.5	284.6036	29.789	61.2	220	1.17	0.920465	0.019769	0.087534	0.095097
28.5	274.9326	28.776	73.6	250	1.17	0.889187	0.02196	0.093931	0.105637
28.5	264.7579	27.711	86	280	1.17	0.85628	0.024151	0.09948	0.116177
28.5	252.4676	26.425	98.4	310	1.17	0.816531	0.026342	0.103468	0.126717
28.5	233.7299	24.464	110.8	350	1.17	0.755929	0.029778	0.108283	0.143245
28.5	222.2456	23.2617	123.2	380	1.17	0.718787	0.031969	0.110538	0.153785
28.5	203.4072	21.28995	148	440	1.17	0.65786	0.036351	0.115036	0.174864
28.5	184.4681	19.30766	179	510	1.17	0.596607	0.041206	0.118259	0.19822
28.5	148.1009	15.50123	210	580	1.17	0.478988	0.046061	0.106132	0.221575
28.5	69.72522	7.297906	225.5	600	1.17	0.225505	0.046621	0.050574	0.22427
28.5	43.93578	4.598612	287.5	650	1.17	0.142097	0.045127	0.030847	0.217083
28.5	32.45142	3.396582	318.5	690	1.17	0.104954	0.046248	0.02335	0.222473
28.5	0	0	349.5	720	1.17	0	0.046123	0	#DIV/0!

Tabel A.11 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 6 \text{ m/s}$, $S/D 1.2$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	403.3761	42.220	0	0	1.17	1.087166	0	0	0
28.5	378.997	39.668	24	110	1.17	1.02146	0.010706	0.036532	0.035765
28.5	360.5616	37.739	61.2	190	1.17	0.971774	0.016034	0.052052	0.053564
28.5	353.2076	36.969	79.8	220	1.17	0.951953	0.017453	0.055503	0.058305
28.5	337.2907	35.303	98.4	270	1.17	0.909055	0.021362	0.064873	0.071363
28.5	325.6048	34.080	117	310	1.17	0.877559	0.024026	0.070435	0.080263
28.5	314.2212	32.888	135.6	350	1.17	0.846879	0.02669	0.07551	0.089162
28.5	305.4568	31.971	154.2	380	1.17	0.823257	0.02811	0.077306	0.093903
28.5	288.0288	30.147	172.8	440	1.17	0.776286	0.033263	0.086261	0.11112
28.5	265.866	27.82731	203.8	520	1.17	0.716553	0.039363	0.094225	0.131498
28.5	255.9935	26.79398	234.8	580	1.17	0.689945	0.042974	0.099047	0.143558
28.5	246.2217	25.7712	265.8	640	1.17	0.663609	0.046584	0.103269	0.155618
28.5	232.8233	24.36884	296.8	710	1.17	0.627498	0.051439	0.107827	0.171837
28.5	222.0441	23.24062	327.8	780	1.17	0.598446	0.056294	0.112541	0.188056
28.5	194.5421	20.36207	343.3	830	1.17	0.524323	0.060589	0.106125	0.202403
28.5	183.5614	19.21276	349.5	850	1.17	0.494729	0.062307	0.102974	0.208142
28.5	153.7424	16.0917	365	880	1.17	0.414361	0.064112	0.088745	0.214172
28.5	128.4566	13.44513	380.5	900	1.17	0.346212	0.064672	0.074797	0.216044
28.5	91.0821	9.53326	396	940	1.17	0.245481	0.067722	0.055536	0.226232
28.5	51.7935	5.421053	411.5	980	1.17	0.139592	0.070772	0.033003	0.236421
28.5	0	0	427	1100	1.17	0	0.083781	0	#DIV/0!

Tabel A.12 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 7 \text{ m/s}$, $S/D 1.2$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	468.0512	48.989	0	0	1.17	1.081265	0	0	0
28.5	430.5759	45.067	24	120	1.17	0.994692	0.011951	0.029176	0.029331
28.5	403.6783	42.252	55	210	1.17	0.932555	0.019296	0.044164	0.047358
28.5	377.7881	39.542	86	300	1.17	0.872745	0.026641	0.057064	0.065385
28.5	370.6356	38.793	117	350	1.17	0.856221	0.029006	0.060954	0.07119
28.5	362.4757	37.939	148	400	1.17	0.837371	0.031371	0.064473	0.076995
28.5	350.7898	36.716	179	460	1.17	0.810375	0.034981	0.069575	0.085856
28.5	342.0254	35.799	210	510	1.17	0.790128	0.037347	0.072424	0.091661
28.5	326.6122	34.185	241	580	1.17	0.754521	0.042202	0.078151	0.103577
28.5	306.9679	32.12931	303	700	1.17	0.70914	0.049422	0.086017	0.121298
28.5	294.6776	30.84293	318.5	750	1.17	0.680747	0.053717	0.089749	0.131839
28.5	283.1933	29.6409	365	830	1.17	0.654217	0.057887	0.092947	0.142074
28.5	273.9252	28.67084	396	890	1.17	0.632806	0.061498	0.095512	0.150935
28.5	253.072	26.4882	458	1010	1.17	0.584633	0.068718	0.098602	0.168656
28.5	239.6736	25.08584	520	1080	1.17	0.55368	0.069714	0.094735	0.1711
28.5	228.5922	23.92598	566.5	1130	1.17	0.528081	0.070149	0.090919	0.17217
28.5	210.5597	22.03859	613	1180	1.17	0.486423	0.070585	0.084267	0.173239
28.5	194.4413	20.35153	659.5	1240	1.17	0.449187	0.072266	0.079669	0.177364
28.5	172.1778	18.02128	706	1300	1.17	0.397755	0.073946	0.072188	0.181488
28.5	155.052	16.22878	768	1370	1.17	0.358192	0.074942	0.065883	0.183933
28.5	110.0212	11.51555	830	1440	1.17	0.254165	0.075938	0.04737	0.186377
28.5	85.94436	8.99551	892	1510	1.17	0.198544	0.076934	0.037489	0.188821
28.5	73.4526	7.688039	954	1580	1.17	0.169686	0.07793	0.032455	0.191266
28.5	48.97278	5.125818	1078	1710	1.17	0.113134	0.078677	0.021846	0.193099
28.5	0	0	1233	1800	1.17	0	0.070585	0	#DIV/0!

Tabel A.13 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 8 \text{ m/s}$, $S/D 1.2$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28,5	532	55.683	0	0	1.17	1.075372	0	0	0
28,5	492.4	51.538	24	160	1.17	0.995325	0.01693	0.031665	0.031814
28,5	451	47.205	70.5	290	1.17	0.91164	0.027325	0.04681	0.051347
28,5	428	44.797	117	390	1.17	0.865149	0.033985	0.05525	0.063862
28,5	394.2	41.260	163.5	500	1.17	0.796826	0.041891	0.062723	0.078716
28,5	381.4	39.920	210	570	1.17	0.770952	0.044816	0.064924	0.084213
28,5	365	38.203	256.5	650	1.17	0.737802	0.048986	0.067915	0.09205
28,5	341.8	35.775	303	750	1.17	0.690906	0.055647	0.072245	0.104565
28,5	331	34.645	349.5	820	1.17	0.669075	0.058572	0.07364	0.110062
28,5	320.8	33.57707	396	890	1.17	0.648457	0.061498	0.074935	0.115559
28,5	312.2	32.67693	442.5	960	1.17	0.631073	0.064423	0.076396	0.121057
28,5	292	30.56267	489	1060	1.17	0.590242	0.071083	0.07884	0.133572
28,5	271.6	28.42747	535.5	1130	1.17	0.549005	0.074009	0.07635	0.139069
28,5	213.8	22.37773	582	1180	1.17	0.43217	0.074444	0.060455	0.139888
28,5	245	25.64333	628.5	1240	1.17	0.495237	0.076125	0.070842	0.143046
28,5	232.2	24.3036	675	1300	1.17	0.469363	0.077806	0.068623	0.146204
28,5	211.2	22.1056	721.5	1370	1.17	0.426914	0.080731	0.064763	0.151701
28,5	192.2	20.11693	768	1440	1.17	0.388508	0.083657	0.061073	0.157198
28,5	177	18.526	861	1560	1.17	0.357783	0.087018	0.058503	0.163514
28,5	160.2	16.7676	954	1670	1.17	0.323824	0.089134	0.054238	0.167491
28,5	137	14.33933	1047	1780	1.17	0.276928	0.09125	0.047484	0.171468
28,5	119.2	12.47627	1140	1890	1.17	0.240948	0.093367	0.042273	0.175444
28,5	103.8	10.8644	1233	2010	1.17	0.209819	0.096728	0.038137	0.18176
28,5	91.8	9.6084	1388	2180	1.17	0.185562	0.098595	0.034379	0.185269
28,5	76.8	8.0384	1481	2300	1.17	0.155242	0.101956	0.029742	0.191585
28,5	0	0	1767	2540	1.17	0	0.09623	0	#DIV/0!

Tabel A.14 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 9 \text{ m/s}$, $S/D 1.2$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	595.1851	62.296	0	0	1.17	1.069415	0	0	0
28.5	573.3245	60.008	24	130	1.17	1.030137	0.013196	0.020182	0.019592
28.5	550.1543	57.583	55	240	1.17	0.988505	0.02303	0.033801	0.034194
28.5	530.107	55.485	86	320	1.17	0.952485	0.02913	0.041195	0.04325
28.5	518.8241	54.304	117	370	1.17	0.932212	0.031496	0.043592	0.046762
28.5	505.0228	52.859	148	440	1.17	0.907414	0.036351	0.048974	0.05397
28.5	469.1593	49.105	303	670	1.17	0.842975	0.045687	0.057181	0.067833
28.5	460.2942	48.177	309.2	722	1.17	0.827046	0.051389	0.063102	0.076298
28.5	431.5833	45.172	371.2	840	1.17	0.775459	0.05836	0.067192	0.086648
28.5	379.8029	39.75271	402.2	950	1.17	0.682421	0.068195	0.069095	0.10125
28.5	355.3231	37.19049	433.2	1040	1.17	0.638437	0.07554	0.071604	0.112155
28.5	328.1233	34.34357	439.4	1050	1.17	0.589565	0.076013	0.066537	0.112857
28.5	303.442	31.76026	445.6	1060	1.17	0.545218	0.076486	0.061915	0.11356
28.5	296.7932	31.06435	507.6	1130	1.17	0.533271	0.077482	0.061347	0.115038
28.5	246.121	25.76066	600.6	1300	1.17	0.442225	0.087068	0.057167	0.12927
28.5	172.7822	18.08454	910.6	1620	1.17	0.310451	0.088312	0.040706	0.131119
28.5	102.6672	10.74583	1220.6	1950	1.17	0.18447	0.090802	0.024869	0.134815
28.5	62.57268	6.549274	1530.6	2300	1.17	0.112429	0.095782	0.015988	0.142209
28.5	27.91812	2.922097	1840.6	2650	1.17	0.050163	0.100761	0.007504	0.149602
28.5	0	0	2150.6	2850	1.17	0	0.087068	0	#DIV/0!

Tabel A.15 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 3.8 \text{ m/s}$, $S/D 1.4$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	203.0042	21.248	0	0	1.17	0.86389	0	0	0
28.5	182.957	19.149	24	90	1.17	0.778578	0.008216	0.053277	0.068428
28.5	175.603	18.380	36.4	110	1.17	0.747283	0.009162	0.057024	0.076308
28.5	167.6445	17.547	48.8	130	1.17	0.713416	0.010108	0.060061	0.084187
28.5	157.8727	16.524	61.2	150	1.17	0.671832	0.011055	0.061854	0.092067
28.5	148.1009	15.501	73.6	170	1.17	0.630247	0.012001	0.062991	0.099947
28.5	139.2358	14.573	86	190	1.17	0.592522	0.012947	0.063889	0.107826
28.5	125.233	13.108	98.4	210	1.17	0.532932	0.013893	0.061663	0.115706
28.5	112.1368	11.737	110.8	230	1.17	0.477201	0.014839	0.058975	0.123585
28.5	97.22724	10.17645	123.2	250	1.17	0.413753	0.015785	0.054394	0.131465
28.5	66.70302	6.981583	135.6	270	1.17	0.283856	0.016731	0.039554	0.139345
28.5	51.39054	5.378877	148	290	1.17	0.218694	0.017677	0.032197	0.147224
28.5	37.99212	3.976509	160.4	310	1.17	0.161676	0.018624	0.025077	0.155104
28.5	0	0	172.8	330	1.17	0	0.01957	0	#DIV/0!

Tabel A.16 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 4.4 \text{ m/s}$, $S/D 1.4$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	298.0021	31.191	0	0	1.17	1.095225	0	0	0
28.5	244.4084	25.581	24	90	1.17	0.898256	0.008216	0.045846	0.051038
28.5	237.961	24.907	36.4	110	1.17	0.874561	0.009162	0.049776	0.056916
28.5	227.4841	23.810	48.8	140	1.17	0.836056	0.011353	0.058963	0.070526
28.5	222.85	23.325	61.2	160	1.17	0.819024	0.0123	0.062576	0.076403
28.5	217.4101	22.756	73.6	180	1.17	0.799031	0.013246	0.065744	0.08228
28.5	212.6753	22.260	86	200	1.17	0.78163	0.014192	0.068906	0.088157
28.5	207.6383	21.733	98.4	220	1.17	0.763118	0.015138	0.071759	0.094034
28.5	205.019	21.459	110.8	240	1.17	0.753492	0.016084	0.075282	0.099912
28.5	199.7806	20.91037	123.2	260	1.17	0.734239	0.01703	0.077674	0.105789
28.5	192.2251	20.11956	135.6	290	1.17	0.706471	0.019221	0.084352	0.119399
28.5	187.1881	19.59235	148	310	1.17	0.687959	0.020167	0.086185	0.125276
28.5	182.957	19.1495	160.4	330	1.17	0.672408	0.021113	0.088189	0.131153
28.5	179.4311	18.78045	172.8	350	1.17	0.65945	0.022059	0.090365	0.13703
28.5	174.5956	18.27434	185.2	370	1.17	0.641678	0.023006	0.091701	0.142908
28.5	169.3571	17.72604	197.6	390	1.17	0.622426	0.023952	0.092607	0.148785
28.5	163.4134	17.10394	210	410	1.17	0.600581	0.024898	0.092887	0.154662
28.5	157.2683	16.46075	222.4	430	1.17	0.577997	0.025844	0.092791	0.160539
28.5	149.1083	15.60667	247.2	460	1.17	0.548007	0.026491	0.09018	0.16456
28.5	140.7469	14.73151	272	490	1.17	0.517277	0.027139	0.087203	0.168581
28.5	131.9825	13.81417	296.8	520	1.17	0.485066	0.027786	0.083724	0.172603
28.5	126.9455	13.28697	321.6	550	1.17	0.466554	0.028433	0.082404	0.176624
28.5	119.0878	12.46453	346.4	580	1.17	0.437675	0.029081	0.079064	0.180645
28.5	109.0138	11.41011	371.2	610	1.17	0.400651	0.029728	0.073987	0.184666
28.5	84.13104	8.805716	396	640	1.17	0.309201	0.030375	0.058342	0.188687
28.5	78.08664	8.173068	420.8	670	1.17	0.286986	0.031023	0.055305	0.192709
28.5	62.67342	6.559818	445.6	700	1.17	0.230339	0.03167	0.045315	0.19673
28.5	51.39054	5.378877	470.4	730	1.17	0.188872	0.032317	0.037916	0.200751
28.5	43.33134	4.535347	495.2	760	1.17	0.159253	0.032965	0.03261	0.204772
28.5	30.94032	3.23842	520	790	1.17	0.113713	0.033612	0.023742	0.208793
28.5	20.96706	2.194552	557.2	830	1.17	0.077059	0.033961	0.016256	0.210959
28.5	0	0	582	860	1.17	0	0.034608	0	#DIV/0!

Tabel A.17 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 5 \text{ m/s}$, $S/D 1.4$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	368.8223	38.603	0	0	1.17	1.192845	0	0	0
28.5	323.3885	33.848	24	90	1.17	1.045903	0.008216	0.041338	0.039524
28.5	309.0835	32.351	123.2	210	1.17	0.999638	0.010806	0.051961	0.05198
28.5	304.2479	31.845	148	240	1.17	0.983999	0.011453	0.054213	0.055094
28.5	294.6776	30.843	172.8	280	1.17	0.953046	0.013345	0.061183	0.064197
28.5	288.1295	30.158	197.6	320	1.17	0.931869	0.015237	0.068305	0.073299
28.5	278.5592	29.156	222.4	360	1.17	0.900916	0.01713	0.074237	0.082402
28.5	264.9593	27.732	247.2	410	1.17	0.856931	0.020267	0.083545	0.097493
28.5	251.9639	26.372	272	460	1.17	0.814902	0.023404	0.091745	0.112584
28.5	245.4158	25.68685	296.8	500	1.17	0.793724	0.025296	0.096585	0.121686
28.5	237.961	24.90659	321.6	540	1.17	0.769614	0.027188	0.100657	0.130789
28.5	224.8648	23.53585	346.4	590	1.17	0.727258	0.030325	0.106092	0.14588
28.5	218.4175	22.86103	371.2	630	1.17	0.706406	0.032218	0.109481	0.154983
28.5	207.6383	21.73281	396	680	1.17	0.671544	0.035355	0.114212	0.170074
28.5	200.5865	20.99472	420.8	720	1.17	0.648737	0.037247	0.116238	0.179176
28.5	181.0429	18.94916	470.4	810	1.17	0.585529	0.042276	0.119079	0.20337
28.5	166.5364	17.43081	495.2	850	1.17	0.538612	0.044169	0.11444	0.212472
28.5	146.7913	15.36416	520	880	1.17	0.474752	0.044816	0.10235	0.215586
28.5	127.0463	13.29751	551	920	1.17	0.410893	0.045936	0.090797	0.220976
28.5	111.6331	11.68426	582	960	1.17	0.361044	0.047057	0.081728	0.226366
28.5	82.82142	8.668642	613	1000	1.17	0.267861	0.048177	0.062078	0.231755
28.5	47.05872	4.925479	644	1040	1.17	0.152197	0.049298	0.036093	0.237145
28.5	29.83218	3.122435	675	1080	1.17	0.096483	0.050418	0.023401	0.242534
28.5	0	0	737	1110	1.17	0	0.046434	0	#DIV/0!

Tabel A.18 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 6 \text{ m/s}$, $S/D 1.4$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	396.5258	41.503	0	0	1.17	1.068703	0	0	0
28.5	371.5423	38.888	24	90	1.17	1.001368	0.008216	0.027485	0.027447
28.5	346.055	36.220	55	170	1.17	0.932676	0.014316	0.044605	0.047825
28.5	337.1899	35.293	86	220	1.17	0.908783	0.016682	0.050643	0.055726
28.5	318.553	33.342	117	290	1.17	0.858553	0.021537	0.061769	0.071945
28.5	308.0761	32.245	148	340	1.17	0.830316	0.023902	0.066298	0.079847
28.5	293.2673	30.695	179	400	1.17	0.790404	0.027512	0.072644	0.091907
28.5	284.2007	29.746	210	450	1.17	0.765968	0.029877	0.07645	0.099808
28.5	275.6378	28.850	241	500	1.17	0.74289	0.032243	0.080017	0.10771
28.5	252.4676	26.42494	272	580	1.17	0.680442	0.038343	0.087156	0.128087
28.5	239.9758	25.11747	303	640	1.17	0.646775	0.041953	0.090644	0.140148
28.5	223.253	23.36715	334	710	1.17	0.601704	0.046808	0.094086	0.156367
28.5	199.4783	20.87873	396	800	1.17	0.537627	0.050294	0.090327	0.168011
28.5	182.3525	19.08623	458	880	1.17	0.49147	0.052534	0.086251	0.175496
28.5	162.9097	17.05122	520	960	1.17	0.439069	0.054775	0.080342	0.182982
28.5	152.8357	15.99681	582	1030	1.17	0.411918	0.055771	0.076744	0.186309
28.5	136.8181	14.32029	644	1100	1.17	0.368747	0.056767	0.069928	0.189636
28.5	116.8715	12.23255	706	1168	1.17	0.314988	0.057514	0.060519	0.192131
28.5	91.88802	9.617613	768	1250	1.17	0.247654	0.060004	0.049642	0.200449
28.5	76.4748	8.004362	830	1320	1.17	0.206112	0.061	0.042001	0.203776
28.5	61.16232	6.401656	892	1400	1.17	0.164843	0.06324	0.034825	0.211261
28.5	51.18906	5.357788	954	1470	1.17	0.137963	0.064236	0.029605	0.214588
28.5	36.07806	3.77617	1016	1540	1.17	0.097236	0.065232	0.021189	0.217915
28.5	0	0	1264	1820	1.17	0	0.069216	0	#DIV/0!

Tabel A.19 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 7 \text{ m/s}$, $S/D 1.4$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	469.7638	49.169	0	0	1.17	1.085221	0	0	0
28.5	429.2663	44.930	24	130	1.17	0.991666	0.013196	0.032117	0.032387
28.5	394.2088	41.261	55	230	1.17	0.910679	0.021786	0.048693	0.053469
28.5	363.9868	38.097	86	320	1.17	0.840861	0.02913	0.060118	0.071495
28.5	350.9913	36.737	117	380	1.17	0.81084	0.032741	0.065156	0.080356
28.5	333.4625	34.902	148	440	1.17	0.770346	0.036351	0.068728	0.089217
28.5	319.5604	33.447	179	500	1.17	0.73823	0.039961	0.072403	0.098077
28.5	309.0835	32.351	210	560	1.17	0.714027	0.043571	0.076356	0.106938
28.5	298.405	31.233	241	620	1.17	0.689358	0.047181	0.079826	0.115798
28.5	288.9355	30.24191	272	670	1.17	0.667482	0.049547	0.081168	0.121603
28.5	279.5666	29.26131	303	720	1.17	0.645839	0.051912	0.082285	0.127409
28.5	271.1045	28.3756	334	780	1.17	0.62629	0.055522	0.085344	0.136269
28.5	263.7505	27.60588	365	830	1.17	0.609301	0.057887	0.086566	0.142074
28.5	250.0498	26.17188	396	890	1.17	0.577651	0.061498	0.087188	0.150935
28.5	238.2632	24.93822	380.5	890	1.17	0.550422	0.063427	0.085685	0.155671
28.5	232.8233	24.36884	411.5	920	1.17	0.537855	0.063303	0.083564	0.155365
28.5	222.9508	23.33551	442.5	960	1.17	0.515048	0.064423	0.081437	0.158115
28.5	213.7834	22.376	473.5	990	1.17	0.49387	0.064299	0.077937	0.157809
28.5	202.2991	21.17397	504.5	1030	1.17	0.46734	0.065419	0.075036	0.160559
28.5	178.4237	18.67501	535.5	1070	1.17	0.412184	0.066539	0.067313	0.163309
28.5	162.5068	17.00904	566.5	1110	1.17	0.375414	0.06766	0.062341	0.166059
28.5	147.698	15.45906	597.5	1150	1.17	0.341203	0.06878	0.057598	0.168809
28.5	134.0981	14.0356	628.5	1190	1.17	0.309786	0.069901	0.053146	0.171558
28.5	124.427	13.02336	659.5	1230	1.17	0.287444	0.071021	0.050104	0.174308
28.5	108.9131	11.39957	690.5	1270	1.17	0.251605	0.072141	0.044549	0.177058
28.5	87.65694	9.17476	752.5	1360	1.17	0.2025	0.075627	0.037587	0.185613
28.5	70.32966	7.361171	907.5	1550	1.17	0.162472	0.079984	0.031894	0.196307
28.5	56.52828	5.916627	1062.5	1710	1.17	0.130588	0.080607	0.025835	0.197835
28.5	31.74624	3.322773	1217.5	1870	1.17	0.073338	0.081229	0.014621	0.199362
28.5	0	0	1310.5	1950	1.17	0	0.079611	0	#DIV/0!

Tabel A.20 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 8 \text{ m/s}$, $S/D 1.4$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	517.0108	54.114	0	0	1.17	1.045073	0	0	0
28.5	464.0216	48.568	24	160	1.17	0.937962	0.01693	0.02984	0.031814
28.5	441.8588	46.248	70.5	260	1.17	0.893162	0.023591	0.039593	0.044329
28.5	415.2634	43.464	117	370	1.17	0.839403	0.031496	0.049679	0.059183
28.5	380.8103	39.858	163.5	490	1.17	0.769761	0.040646	0.058792	0.076377
28.5	365.4979	38.255	210	570	1.17	0.738808	0.044816	0.062218	0.084213
28.5	352.8046	36.927	256.5	650	1.17	0.71315	0.048986	0.065645	0.09205
28.5	334.2685	34.987	303	740	1.17	0.675682	0.054402	0.069072	0.102226
28.5	316.8404	33.163	349.5	830	1.17	0.640453	0.059817	0.071988	0.112401
28.5	299.3117	31.32796	396	920	1.17	0.605021	0.065232	0.074162	0.122577
28.5	286.9207	30.03103	442.5	1000	1.17	0.579974	0.069403	0.075637	0.130414
28.5	273.22	28.59703	489	1080	1.17	0.55228	0.073573	0.076353	0.13825
28.5	259.9223	27.2052	535.5	1140	1.17	0.525401	0.075254	0.074296	0.141408
28.5	248.5387	26.01372	582	1200	1.17	0.50239	0.076934	0.072629	0.144566
28.5	232.924	24.37938	628.5	1260	1.17	0.470827	0.078615	0.069553	0.147724
28.5	215.7982	22.58688	675	1320	1.17	0.436209	0.080295	0.065816	0.150882
28.5	186.4829	19.51854	721.5	1390	1.17	0.376952	0.083221	0.058948	0.15638
28.5	171.5734	17.95801	768	1450	1.17	0.346814	0.084901	0.05533	0.159538
28.5	159.2831	16.67163	814.5	1510	1.17	0.321971	0.086582	0.052383	0.162696
28.5	143.0639	14.97403	861	1560	1.17	0.289186	0.087018	0.047286	0.163514
28.5	129.1618	13.51894	907.5	1620	1.17	0.261084	0.088698	0.043516	0.166672
28.5	116.9723	12.2431	954	1680	1.17	0.236445	0.090379	0.040155	0.16983
28.5	108.9131	11.39957	1000.5	1730	1.17	0.220154	0.090815	0.037569	0.170649
28.5	96.42132	10.0921	1093.5	1830	1.17	0.194904	0.091686	0.033579	0.172286
28.5	82.61994	8.647554	1186.5	1930	1.17	0.167006	0.092557	0.029046	0.173924
28.5	73.55334	7.698583	1279.5	2030	1.17	0.148679	0.093429	0.026102	0.175561
28.5	65.19192	6.823421	1434.5	2190	1.17	0.131777	0.094051	0.023289	0.176731
28.5	51.39054	5.378877	1527.5	2290	1.17	0.10388	0.094923	0.018529	0.178369
28.5	0	0	1813.5	2500	1.17	0	0.085462	0	#DIV/0!

Tabel A.21 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 9 \text{ m/s}$, $S/D 1.4$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	$\rho(\text{kg/m}^3)$	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	574.8276	60.165	0	0	1.17	1.032837	0	0	0
28.5	544.5832	57.000	24	100	1.17	0.978495	0.009461	0.013745	0.014047
28.5	510.7314	53.457	86	230	1.17	0.917671	0.017926	0.024424	0.026616
28.5	490.5018	51.339	148	350	1.17	0.881323	0.025147	0.032905	0.037336
28.5	464.6648	48.635	210	460	1.17	0.834899	0.031122	0.038579	0.046208
28.5	446.7389	46.759	272	560	1.17	0.80269	0.035853	0.042728	0.053231
28.5	419.3982	43.897	334	690	1.17	0.753565	0.044318	0.049584	0.0658
28.5	408.7834	42.786	396	790	1.17	0.734493	0.049049	0.053488	0.072823
28.5	403.976	42.283	458	870	1.17	0.725855	0.051289	0.055274	0.07615
28.5	383.7464	40.16545	520	1000	1.17	0.689507	0.059755	0.061172	0.088719
28.5	374.9316	39.24284	582	1090	1.17	0.673669	0.06324	0.063253	0.093894
28.5	365.8205	38.28921	644	1180	1.17	0.657298	0.066726	0.065118	0.099069
28.5	351.3983	36.77968	706	1280	1.17	0.631385	0.071457	0.066985	0.106093
28.5	343.4872	35.95166	768	1370	1.17	0.61717	0.074942	0.068671	0.111268
28.5	336.0768	35.17604	830	1460	1.17	0.603855	0.078428	0.070315	0.116443
28.5	323.2576	33.83429	892	1560	1.17	0.580822	0.083159	0.071712	0.123467
28.5	314.2442	32.8909	954	1650	1.17	0.564627	0.086644	0.072635	0.128642
28.5	302.828	31.69599	1016	1730	1.17	0.544115	0.088885	0.071806	0.131969
28.5	285.5006	29.88239	1078	1820	1.17	0.512981	0.092371	0.070352	0.137144
28.5	263.4695	27.57647	1140	1900	1.17	0.473396	0.094612	0.066498	0.140471
28.5	237.7318	24.88259	1202	1990	1.17	0.427151	0.098097	0.062213	0.145646
28.5	212.4948	22.24112	1388	2200	1.17	0.381806	0.101085	0.057302	0.150082
28.5	189.2	19.80293	1558	2400	1.17	0.33995	0.10482	0.052906	0.155627
28.5	173	18.10733	1718	2580	1.17	0.310843	0.107309	0.049525	0.159324
28.5	155.2	16.24427	1912	2780	1.17	0.27886	0.108056	0.044738	0.160433
28.5	120.2	12.58093	2226	3100	1.17	0.215973	0.108803	0.034889	0.161542

Tabel A.22 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 3.8 \text{ m/s}$, $S/D 1.6$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	268.4852	28.101	0	0	1.17	1.142546	0	0	0
28.5	219.8278	23.009	24	80	1.17	0.935483	0.006971	0.054314	0.05806
28.5	211.8694	22.176	30.2	100	1.17	0.901616	0.008689	0.065248	0.072368
28.5	189.8073	19.866	42.6	130	1.17	0.80773	0.01088	0.073193	0.090616
28.5	179.7333	18.812	58.1	160	1.17	0.76486	0.012685	0.080807	0.105649
28.5	163.5142	17.114	82.9	200	1.17	0.695839	0.014578	0.084481	0.121408
28.5	147.1943	15.406	113.9	250	1.17	0.626389	0.016943	0.088388	0.141107
28.5	126.7441	13.266	144.9	290	1.17	0.539363	0.018063	0.081141	0.150438
28.5	101.7605	10.651	175.9	330	1.17	0.433045	0.019184	0.069187	0.15977
28.5	76.67628	8.025451	206.9	370	1.17	0.326298	0.020304	0.055177	0.169101
28.5	56.62902	5.927171	237.9	410	1.17	0.240986	0.021425	0.043	0.178432
28.5	31.44402	3.291141	268.9	440	1.17	0.133811	0.0213	0.023737	0.177395
28.5	0	0		480	1.17	0	0.059755	0	#DIV/0!

Tabel A.23 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 4.4 \text{ m/s}$, $S/D 1.6$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	298.0021	31.191	0	0	1.17	1.095225	0	0	0
28.5	260.1238	27.226	24	110	1.17	0.956014	0.010706	0.063579	0.066505
28.5	255.6913	26.762	39.5	130	1.17	0.939723	0.011266	0.065766	0.069984
28.5	240.4795	25.170	55	160	1.17	0.883817	0.013071	0.071764	0.081197
28.5	225.167	23.567	86	210	1.17	0.82754	0.015437	0.079353	0.09589
28.5	210.2575	22.007	101.5	240	1.17	0.772744	0.017242	0.082763	0.107103
28.5	189.5051	19.835	163.5	330	1.17	0.696474	0.020727	0.089675	0.128756
28.5	164.723	17.241	179	380	1.17	0.605395	0.025022	0.0941	0.155435
28.5	151.8283	15.891	185.2	390	1.17	0.558004	0.025495	0.088373	0.158374
28.5	127.55	13.35023	231.7	440	1.17	0.468775	0.025931	0.07551	0.16108
28.5	101.6598	10.64039	293.7	510	1.17	0.373623	0.026927	0.062495	0.167267
28.5	92.0895	9.638701	355.7	580	1.17	0.33845	0.027923	0.058705	0.173453
28.5	79.19478	8.289054	417.7	650	1.17	0.291059	0.028919	0.052286	0.17964
28.5	51.2898	5.368332	479.7	720	1.17	0.188502	0.029915	0.035029	0.185826
28.5	23.38482	2.447611	541.7	790	1.17	0.085945	0.030911	0.016502	0.192013
28.5	0	0	603.7	820	1.17	0	0.026927	0	#DIV/0!

Tabel A.24 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 5 \text{ m/s}$, $S/D 1.6$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td(Nm)	CoP	CM
28.5	338.4	35.419	0	0	1.17	1.094453	0	0	0
28.5	302.6	31.672	24	100	1.17	0.978669	0.009461	0.044542	0.045513
28.5	292.6	30.625	36.4	140	1.17	0.946327	0.012897	0.058711	0.062041
28.5	271.2	28.386	48.8	200	1.17	0.877115	0.018823	0.079419	0.090546
28.5	263.2	27.548	73.6	240	1.17	0.851241	0.020715	0.084825	0.099649
28.5	244.2	25.560	98.4	300	1.17	0.789792	0.025097	0.09535	0.120728
28.5	233.4	24.429	123.2	340	1.17	0.754862	0.026989	0.098004	0.129831
28.5	223.6	23.403	148	400	1.17	0.723167	0.031371	0.109133	0.15091
28.5	215.6	22.566	172.8	450	1.17	0.697294	0.034508	0.115752	0.166001
28.5	202.4	21.18453	197.6	510	1.17	0.654602	0.03889	0.122464	0.187081
28.5	194.8	20.38907	203.8	520	1.17	0.630022	0.039363	0.119299	0.189357
28.5	152.6	15.97213	250.3	600	1.17	0.493539	0.043534	0.103356	0.209418
28.5	114.8	12.01573	296.8	680	1.17	0.371286	0.047704	0.085203	0.22948
28.5	59.8	6.259067	343.3	750	1.17	0.193405	0.05063	0.047104	0.243553
28.5	35.8	3.747067	436.3	830	1.17	0.115784	0.049011	0.027298	0.235767
28.5	0	0	529.3	910	1.17	0	0.047393	0	#DIV/0!

Tabel A.25 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 6 \text{ m/s}$, $S/D 1.6$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	406	42.495	0	0	1.17	1.094238	0	0	0
28.5	382.8	40.066	24	90	1.17	1.03171	0.008216	0.028318	0.027447
28.5	365.2	38.224	55	150	1.17	0.984275	0.011826	0.038886	0.039508
28.5	354.2	37.073	70.5	190	1.17	0.954628	0.014876	0.047441	0.049696
28.5	348.8	36.508	86	220	1.17	0.940074	0.016682	0.052387	0.055726
28.5	328	34.331	148	320	1.17	0.884015	0.021412	0.063233	0.071529
28.5	284.4	29.767	185.2	450	1.17	0.766505	0.032965	0.084409	0.110122
28.5	265.6	27.799	216.2	510	1.17	0.715836	0.036575	0.087462	0.122182
28.5	253.4	26.523	231.7	550	1.17	0.682955	0.039625	0.090403	0.132371
28.5	227.6	23.82213	247.2	620	1.17	0.61342	0.046409	0.095102	0.155036
28.5	212	22.18933	262.7	650	1.17	0.571375	0.048215	0.092029	0.161066
28.5	196.8	20.5984	293.7	690	1.17	0.530409	0.049335	0.087416	0.164809
28.5	163.4	17.10253	340.2	740	1.17	0.44039	0.049771	0.073221	0.166264
28.5	148	15.49067	386.7	790	1.17	0.398885	0.050206	0.066901	0.16772
28.5	129.6	13.5648	433.2	840	1.17	0.349294	0.050642	0.059092	0.169175
28.5	112.6	11.78547	479.7	890	1.17	0.303476	0.051078	0.051782	0.170631
28.5	99.4	10.40387	526.2	940	1.17	0.2679	0.051514	0.046102	0.172086
28.5	76.6	8.017467	572.7	990	1.17	0.20645	0.051949	0.035828	0.173542
28.5	63.6	6.6568	619.2	1040	1.17	0.171413	0.052385	0.029997	0.174997
28.5	51	5.338	665.7	1090	1.17	0.137454	0.052821	0.024254	0.176453
28.5	22	2.302667	712.2	1140	1.17	0.059294	0.053256	0.010549	0.177909
28.5	0	0	758.7	1190	1.17	0	0.053692	0	#DIV/0!

Tabel A.26 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 7 \text{ m/s}$, $S/D 1.6$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	911	95.351	0	0	1.17	2.10454	0	0	0
28.5	765.4	80.112	24	150	1.17	1.768183	0.015686	0.068071	0.038498
28.5	720.6	75.423	55	250	1.17	1.664689	0.024275	0.099181	0.05958
28.5	681.6	71.341	86	320	1.17	1.574593	0.02913	0.112576	0.071495
28.5	649.8	68.012	117	400	1.17	1.501131	0.03523	0.129798	0.086467
28.5	623.8	65.291	148	460	1.17	1.441067	0.038841	0.137373	0.095327
28.5	604.8	63.302	179	510	1.17	1.397174	0.041206	0.1413	0.101132
28.5	586.2	61.356	210	560	1.17	1.354206	0.043571	0.144816	0.106938
28.5	558	58.404	303	700	1.17	1.28906	0.049422	0.15636	0.121298
28.5	536	56.10133	365	800	1.17	1.238237	0.054153	0.164572	0.132908
28.5	514.4	53.84053	427	910	1.17	1.188337	0.060128	0.175368	0.147574
28.5	478.8	50.1144	458	950	1.17	1.106096	0.061249	0.166273	0.150324
28.5	387.4	40.54787	551	1060	1.17	0.894949	0.063365	0.139181	0.155518
28.5	319.6	33.45147	597.5	1120	1.17	0.738322	0.065045	0.117868	0.159643
28.5	296	30.98133	659.5	1200	1.17	0.683802	0.067286	0.112925	0.165142
28.5	221	23.13133	721.5	1270	1.17	0.510542	0.068282	0.08556	0.167586
28.5	165	17.27	783.5	1370	1.17	0.381174	0.073013	0.068305	0.179197
28.5	119	12.45533	845.5	1440	1.17	0.274907	0.074009	0.049934	0.181641
28.5	61.6	6.447467	969.5	1600	1.17	0.142305	0.07849	0.027414	0.19264
28.5	0	0	1124.5	1780	1.17	0	0.081602	0	#DIV/0!

Tabel A.27 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 8 \text{ m/s}$, $S/D 1.6$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	585.2	61.251	0	0	1.17	1.182909	0	0	0
28.5	533	55.787	24	150	1.17	1.077393	0.015686	0.031756	0.029475
28.5	516.2	54.029	70.5	230	1.17	1.043434	0.019856	0.038932	0.037311
28.5	493.8	51.684	117	310	1.17	0.998155	0.024026	0.045064	0.045148
28.5	476.2	49.842	163.5	390	1.17	0.962579	0.028197	0.051002	0.052984
28.5	457.6	47.895	210	470	1.17	0.924981	0.032367	0.056258	0.060821
28.5	444	46.472	256.5	550	1.17	0.897491	0.036537	0.061619	0.068657
28.5	430.2	45.028	303	630	1.17	0.869596	0.040708	0.066519	0.076494
28.5	415	43.437	349.5	710	1.17	0.838871	0.044878	0.070742	0.08433
28.5	398.8	41.74107	396	790	1.17	0.806124	0.049049	0.074298	0.092167
28.5	385.6	40.35947	442.5	870	1.17	0.779442	0.053219	0.077947	0.100003
28.5	373.2	39.0616	489	940	1.17	0.754377	0.056144	0.079587	0.105501
28.5	345.4	36.15187	535.5	1030	1.17	0.698183	0.06156	0.080763	0.115676
28.5	334	34.95867	582	1100	1.17	0.675139	0.064485	0.081809	0.121174
28.5	321.4	33.63987	644	1190	1.17	0.64967	0.067971	0.082978	0.127724
28.5	306	32.028	706	1290	1.17	0.618541	0.072702	0.084501	0.136613
28.5	281.8	29.49507	768	1360	1.17	0.569623	0.073697	0.078884	0.138484
28.5	265.2	27.7576	830	1440	1.17	0.536069	0.075938	0.076494	0.142695
28.5	255	26.69	892	1510	1.17	0.515451	0.076934	0.074517	0.144566
28.5	238.2	24.9316	954	1590	1.17	0.481492	0.079175	0.071635	0.148777
28.5	229	23.96867	1016	1660	1.17	0.462895	0.080171	0.069734	0.150648
28.5	210	21.98	1078	1740	1.17	0.424489	0.082412	0.065736	0.154859
28.5	178	18.63067	1140	1800	1.17	0.359805	0.082163	0.055551	0.154391
28.5	161	16.85133	1202	1860	1.17	0.325441	0.081914	0.050093	0.153923
28.5	142	14.86267	1264	1930	1.17	0.287035	0.08291	0.044719	0.155795
28.5	121	12.66467	1310.5	2000	1.17	0.244586	0.085835	0.03945	0.161292
28.5	89	9.315333	1372.5	2100	1.17	0.179902	0.090566	0.030616	0.170181
28.5	64	6.698667	1458.5	2250	1.17	0.129368	0.098533	0.023953	0.185152
28.5	0	0	1544.5	2400	1.17	0	0.1065	0	#DIV/0!

Tabel A.28 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 9 \text{ m/s}$, $S/D 1.6$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	592.2	61.984	0	0	1.17	1.064052	0	0	0
28.5	572.2	59.890	24	70	1.17	1.028116	0.005726	0.008741	0.008502
28.5	554.4	58.027	55	120	1.17	0.996134	0.008092	0.011968	0.012014
28.5	544.2	56.960	86	180	1.17	0.977806	0.011702	0.016988	0.017374
28.5	522.8	54.720	148	290	1.17	0.939355	0.017677	0.024654	0.026246
28.5	511.2	53.506	210	380	1.17	0.918513	0.021163	0.028861	0.031421
28.5	500.6	52.396	272	470	1.17	0.899467	0.024649	0.032917	0.036596
28.5	486	50.868	334	590	1.17	0.873234	0.031869	0.041318	0.047317
28.5	461.2	48.272	396	730	1.17	0.828674	0.041579	0.051157	0.061733
28.5	443.6	46.43013	458	840	1.17	0.797051	0.047555	0.056276	0.070605
28.5	429	44.902	520	950	1.17	0.770818	0.05353	0.061262	0.079477
28.5	418.2	43.7716	582	1040	1.17	0.751412	0.057016	0.063609	0.084652
28.5	404.2	42.30627	644	1130	1.17	0.726258	0.060502	0.065238	0.089828
28.5	388.6	40.67347	706	1230	1.17	0.698228	0.065232	0.067624	0.096851
28.5	371.6	38.89413	768	1340	1.17	0.667683	0.071208	0.070589	0.105723
28.5	350.2	36.65427	861	1480	1.17	0.629232	0.077059	0.07199	0.11441
28.5	340.4	35.62853	954	1600	1.17	0.611623	0.08042	0.073028	0.1194
28.5	332.6	34.81213	1047	1730	1.17	0.597608	0.085026	0.075442	0.126239
28.5	316.6	33.13747	1140	1840	1.17	0.56886	0.087142	0.0736	0.129381
28.5	304.6	31.88147	1326	2070	1.17	0.547299	0.09262	0.075261	0.137514
28.5	282.2	29.53693	1585	2350	1.17	0.507051	0.095234	0.071695	0.141395
28.5	245.8	25.72707	1743	2520	1.17	0.441648	0.096728	0.063426	0.143613
28.5	194	20.30533	1941	2780	1.17	0.348575	0.104446	0.054054	0.155073
28.5	136	14.23467	2255	3150	1.17	0.244362	0.111418	0.040423	0.165423
28.5	0	0	2569	#DIV/0!	1.17	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

Tabel A.29 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 3.8 \text{ m/s}$, $S/D 1.8$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	250.2	26.188	0	0	1.17	1.064733	0	0	0
28.5	202.6	21.205	24	90	1.17	0.86217	0.008216	0.058997	0.068428
28.5	191.4	20.033	30.2	110	1.17	0.814508	0.009934	0.067389	0.082736
28.5	184.6	19.321	42.6	130	1.17	0.78557	0.01088	0.071185	0.090616
28.5	177	18.526	55	150	1.17	0.753228	0.011826	0.074189	0.098495
28.5	164	17.165	79.8	190	1.17	0.697906	0.013719	0.079739	0.114254
28.5	160	16.747	86	200	1.17	0.680884	0.014192	0.080477	0.118194
28.5	150.2	15.721	92.2	220	1.17	0.63918	0.01591	0.084693	0.132502
28.5	139	14.549	98.4	240	1.17	0.591518	0.017628	0.086841	0.14681
28.5	120.8	12.64373	104.6	260	1.17	0.514068	0.019346	0.082825	0.161117
28.5	95.4	9.9852	117	280	1.17	0.405977	0.020292	0.068609	0.168997
28.5	55.8	5.8404	148	320	1.17	0.237458	0.021412	0.042345	0.178328
28.5	0	0	160.4	340	1.17	0	0.022358	0	#DIV/0!

Tabel A.30 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 4.4 \text{ m/s}$, $S/D 1.8$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	276.6	28.951	0	0	1.17	1.016568	0	0	0
28.5	240	25.120	24	100	1.17	0.882055	0.009461	0.05184	0.058771
28.5	236.4	24.743	39.5	120	1.17	0.868824	0.010021	0.054085	0.062251
28.5	225.4	23.592	55	150	1.17	0.828396	0.011826	0.060858	0.073464
28.5	214.4	22.441	70.5	180	1.17	0.787969	0.013632	0.066723	0.084677
28.5	204.4	21.394	86	210	1.17	0.751216	0.015437	0.072034	0.09589
28.5	199.4	20.871	101.5	240	1.17	0.73284	0.017242	0.07849	0.107103
28.5	193.2	20.222	117	270	1.17	0.710054	0.019047	0.084011	0.118316
28.5	183.8	19.238	132.75	300	1.17	0.675507	0.020821	0.087367	0.129336
28.5	177	18.526	148.25	330	1.17	0.650515	0.022626	0.091429	0.140549
28.5	166.6	17.43747	163.75	360	1.17	0.612293	0.024431	0.092923	0.151762
28.5	151.2	15.8256	179.25	390	1.17	0.555694	0.026236	0.090564	0.162975
28.5	144.2	15.09293	194.75	410	1.17	0.529968	0.026796	0.088216	0.166455
28.5	115	12.03667	225.75	450	1.17	0.422651	0.027917	0.073294	0.173415
28.5	97.6	10.21547	256.75	490	1.17	0.358702	0.029037	0.064701	0.180374
28.5	66.6	6.9708	287.75	530	1.17	0.24477	0.030157	0.045854	0.187334
28.5	32.6	3.412133	349.75	550	1.17	0.097625	0.024929	0.010037	0.102812
28.5	0	0	411.75	600	1.17	0	0.023435	0	#DIV/0!

Tabel A.31 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 5 \text{ m/s}$, $S/D 1.8$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	325.2	34.038	0	0	1.17	1.051762	0	0	0
28.5	298	31.191	24	120	1.17	0.963792	0.011951	0.055408	0.05749
28.5	286.4	29.977	39.5	160	1.17	0.926275	0.015001	0.066841	0.072161
28.5	272.6	28.532	55	200	1.17	0.881643	0.018051	0.076556	0.086833
28.5	262.8	27.506	70.5	230	1.17	0.849948	0.019856	0.081184	0.095517
28.5	254.8	26.669	86	260	1.17	0.824074	0.021661	0.085869	0.1042
28.5	247.8	25.936	101.5	290	1.17	0.801435	0.023466	0.090469	0.112883
28.5	239.2	25.036	117	320	1.17	0.773621	0.025271	0.094046	0.121567
28.5	226.6	23.717	132.5	360	1.17	0.73287	0.028321	0.099845	0.136238
28.5	214.8	22.4824	148	400	1.17	0.694706	0.031371	0.104838	0.15091
28.5	203.6	21.31013	154.2	430	1.17	0.658483	0.034334	0.108757	0.165163
28.5	197.2	20.64027	169.7	460	1.17	0.637784	0.036139	0.110876	0.173846
28.5	184.4	19.30053	185.2	500	1.17	0.596386	0.039189	0.11243	0.188518
28.5	163	17.06067	200.7	520	1.17	0.527175	0.039749	0.100803	0.191213
28.5	138.6	14.5068	247.2	568	1.17	0.44826	0.039936	0.086116	0.192111
28.5	128.8	13.48107	293.7	620	1.17	0.416565	0.040621	0.081399	0.195405
28.5	115	12.03667	355.7	690	1.17	0.371933	0.041617	0.074459	0.200196
28.5	62.2	6.510267	417.7	780	1.17	0.201167	0.045102	0.043646	0.216964
28.5	45.8	4.793733	479.7	850	1.17	0.148126	0.046098	0.032848	0.221754
28.5	0	0	572.7	950	1.17	0	0.04697	0	#DIV/0!

Tabel A.32 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 6 \text{ m/s}$, $S/D 1.8$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	404.2	42.306	0	0	1.17	1.089386	0	0	0
28.5	322.4	33.745	24	160	1.17	0.868922	0.01693	0.049145	0.056558
28.5	312	32.656	55	230	1.17	0.840892	0.021786	0.061198	0.072777
28.5	299	31.295	86	290	1.17	0.805855	0.025396	0.068366	0.084837
28.5	273.8	28.658	117	380	1.17	0.737937	0.032741	0.080711	0.109373
28.5	261	27.318	148	430	1.17	0.703439	0.035106	0.082496	0.117275
28.5	230.4	24.115	179	500	1.17	0.620966	0.039961	0.082895	0.133494
28.5	224	23.445	210	530	1.17	0.603717	0.039836	0.080341	0.133078
28.5	206	21.561	241	570	1.17	0.555204	0.040957	0.075963	0.136821
28.5	173.2	18.12827	303	670	1.17	0.466803	0.045687	0.071245	0.152624
28.5	152.8	15.99307	365	740	1.17	0.411821	0.046683	0.064224	0.155951
28.5	142.2	14.8836	427	820	1.17	0.383253	0.048924	0.062637	0.163436
28.5	88	9.210667	489	940	1.17	0.237175	0.056144	0.044484	0.187557
28.5	62.6	6.552133	551	990	1.17	0.168717	0.054651	0.030802	0.182566
28.5	0	0	737	1350	1.17	0	0.076312	0	#DIV/0!

Tabel A.33 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 7 \text{ m/s}$, $S/D 1.8$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	481.2	50.366	0	0	1.17	1.111641	0	0	0
28.5	441.4	46.200	24	120	1.17	1.019697	0.011951	0.029909	0.029331
28.5	397.6	41.615	55	220	1.17	0.918513	0.020541	0.046305	0.050413
28.5	370.8	38.810	117	360	1.17	0.856601	0.030251	0.063599	0.074245
28.5	333	34.854	179	500	1.17	0.769278	0.039961	0.075448	0.098077
28.5	281.2	29.432	241	640	1.17	0.649612	0.049671	0.079193	0.121909
28.5	261.4	27.360	303	740	1.17	0.603871	0.054402	0.080628	0.133519
28.5	251.6	26.334	365	810	1.17	0.581232	0.055398	0.079026	0.135964
28.5	244	25.539	427	870	1.17	0.563675	0.055149	0.076295	0.135352
28.5	224.4	23.4872	489	950	1.17	0.518396	0.057389	0.073017	0.140852
28.5	205.4	21.49853	551	1030	1.17	0.474503	0.05963	0.069444	0.146352
28.5	181.6	19.00747	613	1110	1.17	0.419522	0.061871	0.063705	0.151851
28.5	161	16.85133	675	1210	1.17	0.371933	0.066602	0.060797	0.163462
28.5	144	15.072	737	1310	1.17	0.332661	0.071332	0.05824	0.175072
28.5	116.6	12.20413	799	1440	1.17	0.269363	0.079797	0.052754	0.195849
28.5	85.8	8.9804	861	1500	1.17	0.19821	0.079548	0.038698	0.195237
28.5	53.8	5.631067	923	1580	1.17	0.124286	0.081789	0.024949	0.200737
28.5	0	0	1078	1700	1.17	0	0.077432	0	#DIV/0!

Tabel A.34 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 8 \text{ m/s}$, $S/D 1.8$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	506.6	53.024	0	0	1.17	1.024029	0	0	0
28.5	467.8	48.963	24	110	1.17	0.945599	0.010706	0.019023	0.020118
28.5	412.4	43.165	86	340	1.17	0.833615	0.03162	0.049531	0.059417
28.5	392.4	41.071	148	460	1.17	0.793188	0.038841	0.057891	0.072985
28.5	361.2	37.806	210	580	1.17	0.730121	0.046061	0.063194	0.086553
28.5	333.4	34.896	272	710	1.17	0.673926	0.054526	0.06905	0.10246
28.5	310.6	32.509	334	850	1.17	0.627839	0.064236	0.075784	0.120706
28.5	290.6	30.416	396	960	1.17	0.587412	0.070212	0.0775	0.131934
28.5	243.6	25.497	458	1100	1.17	0.492407	0.079922	0.07395	0.15018
28.5	224	23.44533	520	1190	1.17	0.452788	0.083408	0.070966	0.15673
28.5	193.6	20.26347	582	1280	1.17	0.391338	0.086893	0.063898	0.16328
28.5	163.6	17.12347	644	1350	1.17	0.330697	0.087889	0.054615	0.165152
28.5	131.8	13.79507	706	1420	1.17	0.266417	0.088885	0.044498	0.167023
28.5	80.6	8.436133	768	1480	1.17	0.162923	0.088636	0.027136	0.166555
28.5	63.6	6.6568	830	1540	1.17	0.128559	0.088387	0.021352	0.166087
28.5	35	3.663333	892	1640	1.17	0.070748	0.093118	0.012379	0.174977
28.5	0	0	1047	2010	1.17	0	0.119883	0	#DIV/0!

Tabel A.35 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 9 \text{ m/s}$, $S/D 1.8$

T(°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td(Nm)	CoP	CM
28.5	593	62.067	0	0	1.17	1.065489	0	0	0
28.5	553.6	57.943	24	160	1.17	0.994696	0.01693	0.025004	0.025137
28.5	511.8	53.568	86	340	1.17	0.919591	0.03162	0.043172	0.046947
28.5	482	50.449	148	450	1.17	0.866047	0.037596	0.048342	0.055819
28.5	454.4	47.561	210	560	1.17	0.816456	0.043571	0.052817	0.064691
28.5	435.2	45.551	272	680	1.17	0.781958	0.050791	0.058968	0.075411
28.5	416.6	43.604	334	810	1.17	0.748538	0.059257	0.065856	0.087979
28.5	403.2	42.202	396	910	1.17	0.724461	0.063987	0.068826	0.095003
28.5	374.6	39.208	458	1030	1.17	0.673073	0.071208	0.071159	0.105723
28.5	355	37.15667	520	1140	1.17	0.637856	0.077183	0.073095	0.114595
28.5	333.6	34.9168	582	1250	1.17	0.599405	0.083159	0.074007	0.123467
28.5	316.6	33.13747	644	1330	1.17	0.56886	0.085399	0.072128	0.126794
28.5	282.8	29.59973	706	1440	1.17	0.508129	0.091375	0.068936	0.135666
28.5	255	26.69	768	1520	1.17	0.458178	0.093616	0.063683	0.138992
28.5	239.2	25.03627	1374	2130	1.17	0.429789	0.094114	0.060055	0.139732
28.5	205	21.45667	1644	2430	1.17	0.368339	0.097848	0.053511	0.145277
28.5	187.8	19.6564	1706	2520	1.17	0.337435	0.101334	0.050768	0.150452
28.5	165	17.27	1830	2660	1.17	0.296468	0.103326	0.045481	0.153409
28.5	130.2	13.6276	2144	2980	1.17	0.23394	0.104073	0.036148	0.154518
28.5	115.6	12.09947	2237	3080	1.17	0.207708	0.104944	0.032363	0.155812
28.5	0	0	2330	#DIV/0!	1.17	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

Tabel A.36 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 3.8 \text{ m/s}$, $S/D 2.0$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	233	24.387	0	0	1.17	0.991538	0	0	0
28.5	210	21.980	24	60	1.17	0.893661	0.004482	0.033355	0.037324
28.5	195	20.410	36.4	90	1.17	0.829828	0.006673	0.046115	0.055572
28.5	185	19.363	48.8	120	1.17	0.787272	0.008864	0.058116	0.07382
28.5	165	17.270	73.6	170	1.17	0.702162	0.012001	0.070179	0.099947
28.5	157	16.433	86	190	1.17	0.668118	0.012947	0.072041	0.107826
28.5	150	15.700	98.4	210	1.17	0.638329	0.013893	0.073858	0.115706
28.5	144	15.072	110.8	230	1.17	0.612796	0.014839	0.075733	0.123585
28.5	137	14.339	123.2	250	1.17	0.583007	0.015785	0.076645	0.131465
28.5	125	13.08333	135.6	270	1.17	0.531941	0.016731	0.074123	0.139345
28.5	113	11.82733	148	290	1.17	0.480874	0.017677	0.070796	0.147224
28.5	100	10.46667	160.4	310	1.17	0.425553	0.018624	0.066005	0.155104
28.5	89	9.315333	172.8	330	1.17	0.378742	0.01957	0.061729	0.162984
28.5	0	0	197.6	370	1.17	0	0.021462	0	#DIV/0!

Tabel A.37 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 4.4 \text{ m/s}$, $S/D 2.0$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	310	32.447	0	0	1.17	1.13932	0	0	0
28.5	275	28.783	24	70	1.17	1.010688	0.005726	0.035952	0.035572
28.5	265	27.737	39.5	100	1.17	0.973935	0.007532	0.045566	0.046785
28.5	252	26.376	55	130	1.17	0.926157	0.009337	0.053715	0.057998
28.5	241	25.225	70.5	160	1.17	0.88573	0.011142	0.061302	0.069211
28.5	225	23.550	101.5	210	1.17	0.826926	0.013507	0.069382	0.083904
28.5	222	23.236	117	230	1.17	0.8159	0.014067	0.071297	0.087384
28.5	208	21.771	132.5	260	1.17	0.764447	0.015872	0.075372	0.098597
28.5	197	20.619	148	290	1.17	0.72402	0.017677	0.079505	0.10981
28.5	185	19.36333	179	340	1.17	0.679917	0.020043	0.084652	0.124503
28.5	163	17.06067	194.5	388	1.17	0.599062	0.024089	0.089641	0.149635
28.5	154.4	16.16053	210	410	1.17	0.567455	0.024898	0.087764	0.154662
28.5	139	14.54867	225.5	430	1.17	0.510857	0.025458	0.080788	0.158142
28.5	131	13.71133	241	450	1.17	0.481455	0.026018	0.077813	0.161622
28.5	122	12.76933	256.5	470	1.17	0.448378	0.026578	0.074028	0.165101
28.5	109	11.40867	272	490	1.17	0.4006	0.027139	0.067534	0.168581
28.5	99	10.362	287.5	510	1.17	0.363848	0.027699	0.062604	0.172061
28.5	81	8.478	318.5	550	1.17	0.297693	0.028819	0.053293	0.179021
28.5	52	5.442667	380.5	620	1.17	0.191112	0.029815	0.035395	0.185208
28.5	20	2.093333	504.5	750	1.17	0.073505	0.030562	0.013955	0.189847
28.5	0	0	566.5	810	1.17	0	0.030313	0	#DIV/0!

Tabel A.38 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 5 \text{ m/s}$, $S/D 2.0$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	330	34.540	0	0	1.17	1.067286	0	0	0
28.5	301	31.505	24	90	1.17	0.973494	0.008216	0.038477	0.039524
28.5	293	30.667	48.8	130	1.17	0.947621	0.010108	0.04608	0.048627
28.5	284	29.725	73.6	170	1.17	0.918513	0.012001	0.053025	0.057729
28.5	269.4	28.197	98.4	240	1.17	0.871293	0.017628	0.073883	0.084797
28.5	261	27.318	123.2	280	1.17	0.844126	0.01952	0.079263	0.0939
28.5	252.2	26.397	148	320	1.17	0.815665	0.021412	0.084015	0.103002
28.5	245	25.643	172.8	360	1.17	0.792379	0.023304	0.08883	0.112105
28.5	238	24.911	197.6	400	1.17	0.76974	0.025197	0.093298	0.121207
28.5	230	24.07333	222.4	440	1.17	0.743866	0.027089	0.096933	0.13031
28.5	223	23.34067	247.2	480	1.17	0.721227	0.028981	0.100548	0.139412
28.5	210	21.98	272	530	1.17	0.679182	0.032118	0.104936	0.154503
28.5	195	20.41	296.8	580	1.17	0.630669	0.035255	0.106958	0.169594
28.5	186	19.468	321.6	620	1.17	0.601561	0.037147	0.107497	0.178697
28.5	165	17.27	346.4	660	1.17	0.533643	0.03904	0.100218	0.1878
28.5	147	15.386	371.2	690	1.17	0.475427	0.039687	0.090766	0.190914
28.5	131	13.71133	402.2	730	1.17	0.42368	0.040807	0.08317	0.196303
28.5	115.4	12.07853	433.2	770	1.17	0.373227	0.041928	0.075277	0.201693
28.5	109	11.40867	495.2	840	1.17	0.352528	0.042924	0.072791	0.206484
28.5	85	8.896667	557.2	910	1.17	0.274907	0.04392	0.058081	0.211274
28.5	69	7.222	619.2	980	1.17	0.22316	0.044916	0.048217	0.216065
28.5	58	6.070667	681.2	1050	1.17	0.187584	0.045912	0.041429	0.220856
28.5	0	0	805.2	1180	1.17	0	0.046658	0	#DIV/0!

Tabel A.39 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 6 \text{ m/s}$, $S/D 2.0$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28,5	401	41.971	0	0	1.17	1.080762	0	0	0
28,5	360	37.680	24	130	1.17	0.97026	0.013196	0.042771	0.044082
28,5	346	36.215	55	200	1.17	0.932528	0.018051	0.056232	0.060301
28,5	332	34.749	86	260	1.17	0.894795	0.021661	0.064748	0.072361
28,5	321	33.598	117	310	1.17	0.865149	0.024026	0.069439	0.080263
28,5	309	32.342	148	360	1.17	0.832807	0.026392	0.073424	0.088164
28,5	299	31.295	179	410	1.17	0.805855	0.028757	0.077415	0.096066
28,5	288	30.144	210	460	1.17	0.776208	0.031122	0.0807	0.103967
28,5	280,6	29.369	241	510	1.17	0.756264	0.033488	0.084602	0.111869
28,5	274	28.67867	272	560	1.17	0.738476	0.035853	0.088447	0.11977
28,5	263	27.52733	303	610	1.17	0.708829	0.038218	0.090497	0.127672
28,5	254,4	26.6272	334	660	1.17	0.68565	0.040583	0.092956	0.135573
28,5	235	24.59667	365	730	1.17	0.633364	0.045438	0.09614	0.151792
28,5	226	23.65467	396	780	1.17	0.609108	0.047804	0.097271	0.159693
28,5	215	22.50333	427	820	1.17	0.579461	0.048924	0.094705	0.163436
28,5	194	20.30533	458	870	1.17	0.522862	0.051289	0.089586	0.171338
28,5	183	19.154	489	910	1.17	0.493216	0.05241	0.086352	0.175081
28,5	175	18.31667	551	980	1.17	0.471654	0.053406	0.084147	0.178408
28,5	162	16.956	613	1050	1.17	0.436617	0.054402	0.079348	0.181735
28,5	153	16.014	675	1120	1.17	0.412361	0.055398	0.076312	0.185061
28,5	130	13.60667	799	1250	1.17	0.350372	0.056144	0.065715	0.187557
28,5	108	11.304	971	1440	1.17	0.291078	0.058385	0.056773	0.195042
28,5	89	9.315333	1095	1560	1.17	0.23987	0.057887	0.046386	0.193379
28,5	67	7.012667	1261	1720	1.17	0.180576	0.05714	0.034469	0.190884
28,5	0	0	1531	1940	1.17	0	0.050916	0	#DIV/0!

Tabel A.40 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 7 \text{ m/s}$, $S/D 2.0$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	465	48.670	0	0	1.17	1.074216	0	0	0
28.5	435	45.530	24	120	1.17	1.004912	0.011951	0.029476	0.029331
28.5	405	42.390	55	200	1.17	0.935608	0.018051	0.04145	0.044303
28.5	365	38.203	117	340	1.17	0.843202	0.027761	0.057451	0.068135
28.5	344.4	36.047	179	440	1.17	0.795613	0.032492	0.063446	0.079745
28.5	316	33.075	241	560	1.17	0.730005	0.039712	0.071151	0.097466
28.5	302	31.609	303	650	1.17	0.697663	0.043198	0.073967	0.106021
28.5	291	30.458	365	740	1.17	0.672252	0.046683	0.077024	0.114576
28.5	282	29.516	427	830	1.17	0.65146	0.050169	0.080215	0.123131
28.5	262	27.42267	489	940	1.17	0.605257	0.056144	0.083402	0.137797
28.5	245	25.64333	551	1020	1.17	0.565985	0.058385	0.081104	0.143296
28.5	226	23.65467	613	1100	1.17	0.522092	0.060626	0.077685	0.148796
28.5	213	22.294	675	1170	1.17	0.49206	0.061622	0.074419	0.15124
28.5	205	21.45667	737	1230	1.17	0.473579	0.061373	0.071335	0.150629
28.5	189	19.782	861	1370	1.17	0.436617	0.063365	0.067902	0.155518
28.5	161	16.85133	985	1500	1.17	0.371933	0.064112	0.058524	0.157351
28.5	152.2	15.93027	1157	1670	1.17	0.351604	0.063863	0.05511	0.15674
28.5	135	14.13	1281	1810	1.17	0.311869	0.065855	0.050407	0.161629
28.5	100	10.46667	1453	1990	1.17	0.231014	0.066851	0.037903	0.164073
28.5	85	8.896667	1619	2160	1.17	0.196362	0.067348	0.032458	0.165295
28.5	39	4.082	1847	2390	1.17	0.090096	0.067597	0.014947	0.165906
28.5	0	0	1971	2500	1.17	0	0.065855	0	#DIV/0!

Tabel A.41 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 8 \text{ m/s}$, $S/D 2.0$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	525	54.950	0	0	1.17	1.061222	0	0	0
28.5	481	50.345	24	130	1.17	0.972281	0.013196	0.024109	0.024796
28.5	459	48.042	86	250	1.17	0.927811	0.020416	0.035594	0.038364
28.5	438	45.844	148	370	1.17	0.885362	0.027637	0.045978	0.051932
28.5	419	43.855	210	470	1.17	0.846956	0.032367	0.051513	0.060821
28.5	401	41.971	272	570	1.17	0.810571	0.037098	0.056505	0.06971
28.5	384	40.192	334	660	1.17	0.776208	0.040583	0.059194	0.07626
28.5	357.8	37.450	396	770	1.17	0.723248	0.046559	0.063276	0.087488
28.5	337	35.273	458	870	1.17	0.681203	0.051289	0.065653	0.096378
28.5	312	32.656	520	980	1.17	0.630669	0.057265	0.067864	0.107606
28.5	291	30.458	582	1080	1.17	0.58822	0.061995	0.068525	0.116495
28.5	265	27.73667	644	1170	1.17	0.535664	0.065481	0.065911	0.123045
28.5	248	25.95733	706	1240	1.17	0.501301	0.066477	0.062621	0.124916
28.5	220	23.02667	892	1450	1.17	0.444703	0.069465	0.058047	0.130531
28.5	199	20.82867	1078	1640	1.17	0.402254	0.069963	0.052883	0.131466
28.5	165.4	17.31187	1264	1850	1.17	0.334335	0.07295	0.045831	0.137081
28.5	119	12.45533	1516	2110	1.17	0.240544	0.073946	0.033424	0.138952
28.5	71	7.431333	1786	2390	1.17	0.143518	0.075191	0.020278	0.141291
28.5	0	0	1972	2620	1.17	0	0.080669	0	#DIV/0!

Tabel A.42 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 9 \text{ m/s}$, $S/D 2.0$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	598	62.591	0	0	1.17	1.074473	0	0	0
28.5	554	57.985	24	200	1.17	0.995415	0.02191	0.032381	0.03253
28.5	505	52.857	86	360	1.17	0.907373	0.03411	0.045953	0.050644
28.5	483	50.554	148	460	1.17	0.867844	0.038841	0.050046	0.057667
28.5	463	48.461	210	560	1.17	0.831908	0.043571	0.053817	0.064691
28.5	450	47.100	272	650	1.17	0.80855	0.047057	0.05649	0.069866
28.5	436	45.635	334	740	1.17	0.783395	0.050542	0.058787	0.075041
28.5	423	44.274	396	830	1.17	0.760037	0.054028	0.060967	0.080216
28.5	408	42.704	458	920	1.17	0.733085	0.057514	0.062599	0.085392
28.5	395	41.34333	520	1010	1.17	0.709727	0.061	0.064278	0.090567
28.5	370.6	38.78947	582	1120	1.17	0.665886	0.066975	0.066215	0.099439
28.5	359	37.57533	644	1210	1.17	0.645043	0.070461	0.067481	0.104614
28.5	348	36.424	706	1300	1.17	0.625279	0.073946	0.068649	0.109789
28.5	336	35.168	768	1390	1.17	0.603717	0.077432	0.069406	0.114965
28.5	321	33.598	830	1490	1.17	0.576766	0.082163	0.070359	0.121988
28.5	297	31.086	892	1590	1.17	0.533643	0.086893	0.068846	0.129012
28.5	284	29.72533	954	1660	1.17	0.510285	0.087889	0.066587	0.13049
28.5	270	28.26	1016	1740	1.17	0.48513	0.09013	0.064919	0.133817
28.5	238	24.91067	1416	2180	1.17	0.427633	0.09511	0.060386	0.14121
28.5	199	20.82867	1730	2520	1.17	0.357559	0.098346	0.052209	0.146016
28.5	120	12.56	2000	2870	1.17	0.215613	0.108305	0.034671	0.160802
28.5	78	8.164	2124	3050	1.17	0.140149	0.115277	0.023987	0.171153
28.5	57	5.966	2248	3180	1.17	0.102416	0.116024	0.017642	0.172262
28.5	0	0		#DIV/0!	1.17	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

Tabel A.43 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 3.8 \text{ m/s}$, $S/D 2.2$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	207	21.666	0	0	1.17	0.881	0.0000	0.0000	0
28.5	182	19.049	24	70	1.17	0.775	0.0057	0.0369	0.047692
28.5	173	18.107	30.2	90	1.17	0.736	0.0074	0.0456	0.062
28.5	164	17.165	36.4	110	1.17	0.698	0.0092	0.0533	0.076308
28.5	151	15.805	42.6	130	1.17	0.643	0.0109	0.0582	0.090616
28.5	140	14.653	48.8	140	1.17	0.596	0.0114	0.0563	0.094555
28.5	131	13.711	55	150	1.17	0.557	0.0118	0.0549	0.098495
28.5	123	12.874	61.2	160	1.17	0.523	0.0123	0.0536	0.102435
28.5	116	12.141	67.4	170	1.17	0.494	0.0128	0.0525	0.106375
28.5	107	11.199	79.8	180	1.17	0.455	0.0125	0.0473	0.103886
28.5	94	9.839	92.2	200	1.17	0.400	0.0134	0.0447	0.111766
28.5	0	0.000	104.6	210	1.17	0.000	0.0131	0.0000	0.109278

Tabel A.44 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 4.4 \text{ m/s}$, $S/D 2.2$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	262	27.423	0	0	1.17	0.963	0.0000	0.0000	0
28.5	225	23.550	24	80	1.17	0.827	0.0070	0.0358	0.043305
28.5	218	22.817	36.4	110	1.17	0.801	0.0092	0.0456	0.056916
28.5	197	20.619	48.8	150	1.17	0.724	0.0126	0.0567	0.078259
28.5	190	19.887	61.2	170	1.17	0.698	0.0135	0.0588	0.084136
28.5	175	18.317	67.4	190	1.17	0.643	0.0153	0.0610	0.094808
28.5	167	17.479	70.5	200	1.17	0.614	0.0161	0.0615	0.100144
28.5	157	16.433	73.6	210	1.17	0.577	0.0170	0.0609	0.105479
28.5	151	15.805	79.8	220	1.17	0.555	0.0175	0.0602	0.108418
28.5	140	14.653	92.2	240	1.17	0.515	0.0184	0.0588	0.114295
28.5	129	13.502	104.6	260	1.17	0.474	0.0193	0.0570	0.120172
28.5	115	12.037	117	280	1.17	0.423	0.0203	0.0533	0.126049
28.5	103	10.781	129.4	300	1.17	0.379	0.0212	0.0499	0.131927
28.5	92	9.629	141.8	320	1.17	0.338	0.0222	0.0466	0.137804
28.5	79	8.269	154.2	340	1.17	0.290	0.0231	0.0417	0.143681
28.5	47	4.919	179	370	1.17	0.173	0.0238	0.0255	0.147702
28.5	33	3.454	203.8	400	1.17	0.121	0.0244	0.0184	0.151723
28.5	26	2.721	234.8	440	1.17	0.096	0.0255	0.0152	0.158683
28.5	15	1.570	265.8	480	1.17	0.055	0.0267	0.0091	0.165643
28.5	0	0.000	281.3	490	1.17	0.000	0.0260	0.0000	0.16139

Tabel A.45 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 5 \text{ m/s}$, $S/D 2.2$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	315	32.970	0	0	1.17	1.019	0.0000	0.0000	0
28.5	278	29.097	24	90	1.17	0.899	0.0082	0.0355	0.039524
28.5	268	28.051	48.8	130	1.17	0.867	0.0101	0.0421	0.048627
28.5	263	27.527	73.6	160	1.17	0.851	0.0108	0.0440	0.051741
28.5	252	26.376	98.4	200	1.17	0.815	0.0126	0.0496	0.060843
28.5	243	25.434	123.2	240	1.17	0.786	0.0145	0.0550	0.069946
28.5	233	24.387	148	280	1.17	0.754	0.0164	0.0596	0.079048
28.5	220	23.027	172.8	330	1.17	0.712	0.0196	0.0670	0.094139
28.5	217	22.713	197.6	360	1.17	0.702	0.0202	0.0683	0.097253
28.5	208	21.771	222.4	400	1.17	0.673	0.0221	0.0715	0.106356
28.5	204	21.352	247.2	430	1.17	0.660	0.0228	0.0722	0.10947
28.5	193	20.201	272	470	1.17	0.624	0.0246	0.0740	0.118572
28.5	182	19.049	296.8	510	1.17	0.589	0.0265	0.0752	0.127675
28.5	171	17.898	327.8	550	1.17	0.553	0.0277	0.0736	0.133065
28.5	160	16.747	358.8	590	1.17	0.517	0.0288	0.0716	0.138454
28.5	151	15.805	389.8	620	1.17	0.488	0.0287	0.0673	0.137855
28.5	144	15.072	420.8	650	1.17	0.466	0.0285	0.0639	0.137257
28.5	132	13.816	451.8	680	1.17	0.427	0.0284	0.0583	0.136658
28.5	123	12.874	513.8	740	1.17	0.398	0.0282	0.0539	0.13546
28.5	85	8.897	575.8	810	1.17	0.275	0.0292	0.0386	0.140251
28.5	73	7.641	637.8	880	1.17	0.236	0.0302	0.0342	0.145042
28.5	24	2.512	761.8	1010	1.17	0.078	0.0309	0.0115	0.148635
28.5	0	0.000	885.8	1140	1.17	#DIV/0!	0.0316	#DIV/0!	0.152228

Tabel A.46 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 6 \text{ m/s}$, $S/D 2.2$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	$\rho(\text{kg/m}^3)$	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	390	40.820	0	0	1.17	1.051	0.0000	0.0000	0
28.5	367	38.413	24	80	1.17	0.989	0.0070	0.0230	0.023289
28.5	360	37.680	55	140	1.17	0.970	0.0106	0.0343	0.035349
28.5	350	36.633	86	200	1.17	0.943	0.0142	0.0447	0.047409
28.5	341	35.691	117	250	1.17	0.919	0.0166	0.0508	0.055311
28.5	335	35.105	148	300	1.17	0.904	0.0189	0.0571	0.063212
28.5	329	34.435	179	350	1.17	0.887	0.0213	0.0631	0.071114
28.5	311	32.551	210	410	1.17	0.838	0.0249	0.0697	0.083174
28.5	305	31.923	241	450	1.17	0.822	0.0260	0.0714	0.086917
28.5	285	29.830	303	550	1.17	0.768	0.0307	0.0789	0.10272
28.5	276	28.888	334	600	1.17	0.744	0.0331	0.0823	0.110621
28.5	271	28.365	365	640	1.17	0.730	0.0342	0.0835	0.114364
28.5	266	27.841	396	680	1.17	0.717	0.0354	0.0847	0.118107
28.5	256	26.795	427	740	1.17	0.690	0.0390	0.0898	0.130167
28.5	246	25.748	458	790	1.17	0.663	0.0413	0.0915	0.138068
28.5	235	24.597	489	840	1.17	0.633	0.0437	0.0925	0.14597
28.5	225	23.550	520	880	1.17	0.606	0.0448	0.0908	0.149713
28.5	180	18.840	582	960	1.17	0.485	0.0471	0.0763	0.157198
28.5	174	18.212	644	1020	1.17	0.469	0.0468	0.0733	0.156367
28.5	144	15.072	706	1090	1.17	0.388	0.0478	0.0620	0.159693
28.5	123	12.874	830	1220	1.17	0.332	0.0486	0.0538	0.162189
28.5	0	0.000	882	1300	1.17	0.000	0.0520	0.0000	0.173833

Tabel A.47 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 7 \text{ m/s}$, $S/D 2.2$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	$\rho(\text{kg/m}^3)$	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	450	47.142	0	0	1.17	1.040	0.0000	0.0000	0
28.5	423	44.232	24	100	1.17	0.976	0.0095	0.0227	0.023221
28.5	380	39.815	86	260	1.17	0.879	0.0217	0.0467	0.053163
28.5	361	37.806	148	370	1.17	0.834	0.0276	0.0566	0.067829
28.5	349	36.550	210	470	1.17	0.807	0.0324	0.0641	0.079439
28.5	340	35.608	272	560	1.17	0.786	0.0359	0.0692	0.087994
28.5	331	34.645	334	650	1.17	0.765	0.0393	0.0738	0.096549
28.5	323	33.807	396	740	1.17	0.746	0.0428	0.0784	0.105104
28.5	318	33.284	458	820	1.17	0.735	0.0451	0.0813	0.110604
28.5	311	32.593	520	900	1.17	0.719	0.0473	0.0835	0.116104
28.5	305	31.923	582	980	1.17	0.705	0.0495	0.0857	0.121603
28.5	298	31.149	644	1060	1.17	0.687	0.0518	0.0874	0.127103
28.5	289	30.207	706	1140	1.17	0.667	0.0540	0.0884	0.132603
28.5	273	28.616	768	1230	1.17	0.632	0.0575	0.0892	0.141158
28.5	258	27.004	861	1340	1.17	0.596	0.0596	0.0872	0.146352
28.5	226	23.655	954	1450	1.17	0.522	0.0617	0.0791	0.151546
28.5	216	22.650	1047	1550	1.17	0.500	0.0626	0.0768	0.153685
28.5	174	18.254	1213	1740	1.17	0.403	0.0656	0.0649	0.161017
28.5	74	7.703	1351	1930	1.17	0.170	0.0721	0.0301	0.176905
28.5	0	0.000	1413	2050	1.17	0.000	0.0793	0.0000	0.194626

Tabel A.48 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 8 \text{ m/s}$, $S/D 2.2$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	515	53.945	0	0	1.17	1.042	0.0000	0.0000	0
28.5	503	52.605	24	110	1.17	1.016	0.0107	0.0204	0.020118
28.5	464	48.565	86	280	1.17	0.938	0.0242	0.0426	0.045382
28.5	436	45.677	148	390	1.17	0.882	0.0301	0.0499	0.05661
28.5	420	43.918	210	480	1.17	0.848	0.0336	0.0536	0.06316
28.5	413	43.227	272	560	1.17	0.835	0.0359	0.0562	0.067371
28.5	400	41.867	334	650	1.17	0.809	0.0393	0.0598	0.073921
28.5	378	39.522	396	750	1.17	0.763	0.0441	0.0632	0.08281
28.5	355	37.199	458	850	1.17	0.718	0.0488	0.0659	0.091699
28.5	344	35.984	520	930	1.17	0.695	0.0510	0.0667	0.09591
28.5	337	35.273	582	1010	1.17	0.681	0.0533	0.0682	0.10012
28.5	315	32.970	706	1170	1.17	0.637	0.0578	0.0691	0.108542
28.5	283	29.663	892	1400	1.17	0.573	0.0632	0.0681	0.118834
28.5	260	27.213	1002	1540	1.17	0.526	0.0670	0.0661	0.125852
28.5	203	21.205	1162	1760	1.17	0.410	0.0744	0.0573	0.139888
28.5	165	17.270	1334	1980	1.17	0.334	0.0804	0.0504	0.151116
28.5	123	12.874	1648	2340	1.17	0.249	0.0861	0.0402	0.161877
28.5	55	5.715	1772	2470	1.17	0.110	0.0869	0.0180	0.16328
28.5	0	0.000	1896	2640	1.17	0.000	0.0926	0.0000	0.174041

Tabel A.49 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 9 \text{ m/s}$, $S/D 2.2$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	595	62.277	0	0	1.17	1.069	0.0000	0.0000	0
28.5	549	57.462	24	160	1.17	0.986	0.0169	0.0248	0.025137
28.5	504	52.752	86	330	1.17	0.906	0.0304	0.0408	0.045099
28.5	483	50.554	148	440	1.17	0.868	0.0364	0.0468	0.05397
28.5	458	47.937	210	550	1.17	0.823	0.0423	0.0517	0.062842
28.5	445	46.577	272	640	1.17	0.800	0.0458	0.0544	0.068018
28.5	433	45.321	334	730	1.17	0.778	0.0493	0.0569	0.073193
28.5	421	44.065	396	820	1.17	0.756	0.0528	0.0593	0.078368
28.5	403	42.181	458	920	1.17	0.724	0.0575	0.0618	0.085392
28.5	392	41.029	520	1010	1.17	0.704	0.0610	0.0638	0.090567
28.5	365	38.203	582	1130	1.17	0.656	0.0682	0.0664	0.101287
28.5	353	36.947	644	1220	1.17	0.634	0.0717	0.0675	0.106462
28.5	347	36.319	706	1300	1.17	0.623	0.0739	0.0685	0.109789
28.5	332	34.749	768	1400	1.17	0.597	0.0787	0.0697	0.116813
28.5	320	33.493	830	1490	1.17	0.575	0.0822	0.0701	0.121988
28.5	296	30.981	892	1590	1.17	0.532	0.0869	0.0686	0.129012
28.5	265	27.737	1064	1810	1.17	0.476	0.0929	0.0657	0.137883
28.5	246	25.748	1236	2010	1.17	0.442	0.0964	0.0632	0.143059
28.5	213	22.294	1550	2350	1.17	0.383	0.0996	0.0566	0.147864
28.5	113	11.827	1710	2570	1.17	0.203	0.1071	0.0323	0.158954
28.5	67	7.013	1772	2650	1.17	0.120	0.1093	0.0195	0.162281
28.5	0	0.000	1834	2800	1.17	0.000	0.1203	0.0000	0.178546

Tabel A.50 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 3.8 \text{ m/s}$, $S/D 2.4$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	202.2	21.164	0	0	1.17	0.860467	0	0	0
28.5	173.64	18.174	24	60	1.17	0.73893	0.004482	0.02758	0.037324
28.5	167.6	17.542	30.2	80	1.17	0.713226	0.0062	0.036825	0.051632
28.5	164.4	17.207	33.3	90	1.17	0.699609	0.007059	0.041127	0.058786
28.5	160.4	16.789	36.4	100	1.17	0.682586	0.007917	0.04501	0.06594
28.5	157	16.433	42.6	110	1.17	0.668118	0.008391	0.0487	0.072891
28.5	145	15.177	48.8	130	1.17	0.617051	0.010108	0.051948	0.084187
28.5	136.2	14.256	55	140	1.17	0.579603	0.010582	0.051079	0.088127
28.5	128.6	13.460	61.2	150	1.17	0.547261	0.011055	0.050385	0.092067
28.5	119	12.45333	67.4	160	1.17	0.506408	0.011528	0.048619	0.096007
28.5	106.2	11.1156	79.8	180	1.17	0.451937	0.012474	0.04695	0.103886
28.5	95.2	9.964267	86	190	1.17	0.405126	0.012947	0.043683	0.107826
28.5	81	8.478	92.2	200	1.17	0.344698	0.01342	0.038526	0.111766
28.5	58.4	6.112533	104.6	210	1.17	0.248523	0.013121	0.027158	0.109278
28.5	0	0	117	220	1.17	0	0.012822	0	0

Tabel A.51 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 4.4 \text{ m/s}$, $S/D 2.4$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	250.8	26.250	0	0	1.17	0.921747	0	0	0
28.5	212.6	22.252	24	80	1.17	0.781353	0.006971	0.033837	0.043305
28.5	200.4	20.975	30.2	100	1.17	0.736516	0.008689	0.039755	0.053977
28.5	189	19.782	36.4	120	1.17	0.694618	0.010407	0.044906	0.064649
28.5	177.6	18.589	48.8	148	1.17	0.65272	0.012349	0.050072	0.076712
28.5	173.4	18.149	61.2	170	1.17	0.637284	0.013544	0.053619	0.084136
28.5	147.6	15.449	67.4	190	1.17	0.542464	0.015262	0.05143	0.094808
28.5	137.4	14.381	73.6	200	1.17	0.504976	0.015735	0.04936	0.097746
28.5	115.2	12.058	79.8	220	1.17	0.423386	0.017453	0.045903	0.108418
28.5	105	10.99	86	230	1.17	0.385899	0.017926	0.042972	0.111357
28.5	96	10.048	98.4	250	1.17	0.352822	0.018873	0.041363	0.117234
28.5	75.6	7.9128	104.6	262	1.17	0.277847	0.019595	0.033819	0.121719
28.5	43.6	4.563467	110.8	290	1.17	0.16024	0.022308	0.022206	0.138577
28.5	0	0	123.2	300	1.17	0	0	0	#DIV/0!

Tabel A.52 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 5 \text{ m/s}$, $S/D 2.4$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	297.6	31.149	0	0	1.17	0.962498	0	0	0
28.5	273.6	28.637	24	90	1.17	0.884877	0.008216	0.034974	0.039524
28.5	264	27.632	48.8	140	1.17	0.853829	0.011353	0.046632	0.054615
28.5	257.2	26.920	73.6	180	1.17	0.831836	0.013246	0.053003	0.063718
28.5	243.6	25.497	98.4	220	1.17	0.787851	0.015138	0.057371	0.07282
28.5	231.4	24.220	117	260	1.17	0.748394	0.017802	0.064089	0.085636
28.5	221	23.131	123.2	280	1.17	0.714758	0.01952	0.067116	0.0939
28.5	211	22.085	148	320	1.17	0.682416	0.021412	0.07029	0.103002
28.5	200.2	20.954	172.8	350	1.17	0.647487	0.022059	0.068709	0.106116
28.5	185	19.36333	197.6	380	1.17	0.598327	0.022707	0.065355	0.10923
28.5	176	18.42133	272	460	1.17	0.569219	0.023404	0.064085	0.112584
28.5	155.6	16.28613	327.8	520	1.17	0.503242	0.023927	0.057923	0.115099
28.5	145.8	15.2604	358.8	550	1.17	0.471546	0.023802	0.053992	0.1145
28.5	131.8	13.79507	420.8	620	1.17	0.426268	0.024798	0.05085	0.119291
28.5	110.6	11.57613	451.8	650	1.17	0.357703	0.024674	0.042456	0.118692
28.5	83	8.687333	482.8	690	1.17	0.268439	0.025794	0.033308	0.124082
28.5	71	7.431333	513.8	730	1.17	0.229628	0.026915	0.02973	0.129471
28.5	64	6.698667	544.8	770	1.17	0.206989	0.028035	0.027915	0.134861
28.5	29.8	3.119067	575.8	810	1.17	0.096379	0.029155	0.013517	0.140251
28.5	0	0	606.8	880	1.17	0	0.03401	0	0

Tabel A.53 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 6 \text{ m/s}$, $S/D 2.4$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	378.6	39.627	0	0	1.17	1.02039	0	0	0
28.5	365	38.203	24	80	1.17	0.983736	0.006971	0.02291	0.023289
28.5	354.2	37.073	55	140	1.17	0.954628	0.010582	0.033745	0.035349
28.5	346.2	36.236	86	200	1.17	0.933067	0.014192	0.044236	0.047409
28.5	332.2	34.770	117	260	1.17	0.895334	0.017802	0.053245	0.059469
28.5	321.2	33.619	148	320	1.17	0.865688	0.021412	0.061922	0.071529
28.5	309.8	32.426	179	370	1.17	0.834963	0.023777	0.066322	0.079431
28.5	298	31.191	210	440	1.17	0.80316	0.028632	0.076822	0.09565
28.5	289.4	30.291	241	490	1.17	0.779981	0.030998	0.080768	0.103551
28.5	272.6	28.53213	303	560	1.17	0.734702	0.031994	0.078524	0.106878
28.5	257.4	26.9412	334	600	1.17	0.693736	0.033114	0.076742	0.110621
28.5	242.2	25.35027	365	630	1.17	0.652769	0.03299	0.071939	0.110205
28.5	222.8	23.31973	396	660	1.17	0.600483	0.032865	0.065927	0.109789
28.5	205.6	21.51947	427	700	1.17	0.554126	0.033985	0.062911	0.113532
28.5	197.8	20.70307	458	730	1.17	0.533104	0.033861	0.060303	0.113116
28.5	187	19.57267	489	770	1.17	0.503996	0.034981	0.058897	0.116859
28.5	171.6	17.9608	520	810	1.17	0.462491	0.036102	0.055777	0.120602
28.5	144.2	15.09293	582	900	1.17	0.388643	0.039587	0.051397	0.132246
28.5	92.8	9.713067	644	1040	1.17	0.250111	0.049298	0.041189	0.164684
28.5	0	0	706	1090	1.17	0	0.047804	0	#DIV/0!

Tabel A.54 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 7 \text{ m/s}$, $S/D 2.4$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	432.8	45.300	0	0	1.17	0.99983	0	0	0
28.5	405.2	42.411	24	110	1.17	0.93607	0.010706	0.024596	0.026276
28.5	375.8	39.334	55	220	1.17	0.868152	0.020541	0.043767	0.050413
28.5	353.8	37.031	117	340	1.17	0.817329	0.027761	0.055688	0.068135
28.5	330	34.540	179	460	1.17	0.762347	0.034981	0.065452	0.085856
28.5	307.4	32.175	241	560	1.17	0.710138	0.039712	0.069214	0.097466
28.5	290.4	30.395	303	660	1.17	0.670865	0.044443	0.073176	0.109076
28.5	279.6	29.265	365	750	1.17	0.645916	0.047928	0.07598	0.117631
28.5	264.4	27.674	427	850	1.17	0.610802	0.052659	0.078941	0.129242
28.5	255.2	26.71093	489	930	1.17	0.589548	0.0549	0.0798	0.135358
28.5	237	24.806	551	1010	1.17	0.547504	0.05714	0.076782	0.140241
28.5	224.8	23.52907	613	1080	1.17	0.51932	0.058136	0.074099	0.142685
28.5	212	22.18933	675	1150	1.17	0.48975	0.059132	0.071077	0.14513
28.5	199.4	20.87053	737	1230	1.17	0.460642	0.061373	0.069386	0.150629
28.5	124.2	12.9996	830	1340	1.17	0.28692	0.063489	0.044709	0.155823
28.5	75.8	7.933733	923	1430	1.17	0.175109	0.063116	0.027126	0.154907
28.5	40.2	4.2076	1047	1580	1.17	0.092868	0.066353	0.015124	0.162851
28.5	0	0	1078	2050	1.17	0	0.121003	0	0

Tabel A.55 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 8 \text{ m/s}$, $S/D 2.4$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	485.4	50.805	0	0	1.17	0.981175	0	0	0
28.5	473	49.507	24	100	1.17	0.95611	0.009461	0.016998	0.017778
28.5	431.2	45.132	86	260	1.17	0.871617	0.021661	0.035478	0.040703
28.5	410	42.913	148	360	1.17	0.828764	0.026392	0.0411	0.049592
28.5	393	41.134	210	480	1.17	0.7944	0.033612	0.050174	0.06316
28.5	370.2	38.748	272	580	1.17	0.748313	0.038343	0.053915	0.072049
28.5	352.8	36.926	334	680	1.17	0.713141	0.043073	0.05772	0.080938
28.5	335	35.063	396	790	1.17	0.677161	0.049049	0.062412	0.092167
28.5	311.8	32.635	458	910	1.17	0.630265	0.056269	0.066641	0.105735
28.5	300.4	31.44187	489	970	1.17	0.607221	0.059879	0.068324	0.112518
28.5	292.6	30.62547	520	1020	1.17	0.591454	0.062244	0.069178	0.116963
28.5	255.6	26.7528	613	1160	1.17	0.516663	0.068095	0.066111	0.127958
28.5	224.4	23.4872	675	1260	1.17	0.453597	0.072826	0.062073	0.136847
28.5	191.2	20.01227	861	1500	1.17	0.386487	0.079548	0.057772	0.149479
28.5	182.8	19.13307	971	1620	1.17	0.369507	0.080793	0.056098	0.151818
28.5	137.6	14.40213	1131	1800	1.17	0.278141	0.083283	0.043528	0.156496
28.5	80.2	8.394267	1303	1960	1.17	0.162114	0.081789	0.024915	0.153689
28.5	64.4	6.740533	1617	2280	1.17	0.130177	0.082536	0.020189	0.155093
28.5	0	0	1741	2530	1.17	0	0.098222	0	0

Tabel A.56 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 9 \text{ m/s}$, $S/D 2.4$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	534.2	55.913	0	0	1.17	0.959839	0	0	0
28.5	494.6	51.768	24	150	1.17	0.888686	0.015686	0.020696	0.023289
28.5	463.2	48.482	86	310	1.17	0.832267	0.027886	0.034458	0.041402
28.5	420.8	44.044	148	450	1.17	0.756084	0.037596	0.042204	0.055819
28.5	391.6	40.987	210	560	1.17	0.703618	0.043571	0.045518	0.064691
28.5	375.4	39.292	272	650	1.17	0.67451	0.047057	0.047125	0.069866
28.5	347.6	36.382	334	780	1.17	0.62456	0.055522	0.051485	0.082434
28.5	327.8	34.310	396	890	1.17	0.588984	0.061498	0.053778	0.091306
28.5	318.8	33.368	458	980	1.17	0.572813	0.064983	0.055266	0.096481
28.5	310.4	32.48853	520	1070	1.17	0.55772	0.068469	0.056696	0.101657
28.5	293.2	30.68827	582	1190	1.17	0.526815	0.075689	0.059202	0.112377
28.5	282.8	29.59973	644	1300	1.17	0.508129	0.081665	0.06161	0.121249
28.5	263.8	27.61107	706	1450	1.17	0.47399	0.09262	0.06518	0.137514
28.5	249.4	26.10387	768	1570	1.17	0.448116	0.09984	0.066426	0.148234
28.5	235.6	24.65947	830	1650	1.17	0.423321	0.102081	0.064159	0.151561
28.5	215.2	22.52427	892	1710	1.17	0.386667	0.101832	0.058461	0.151191
28.5	193.4	20.24253	1064	1880	1.17	0.347497	0.101583	0.05241	0.150822
28.5	181.2	18.9656	1236	2050	1.17	0.325576	0.101334	0.048984	0.150452
28.5	114	11.932	1396	2220	1.17	0.204833	0.102579	0.031196	0.1523
28.5	71.6	7.494133	1458	2340	1.17	0.128649	0.109799	0.020972	0.16302
28.5	0	0	1520	2536	1.17	0	0.126481	0	#DIV/0!

Tabel A.57 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 3.8 \text{ m/s}$, $S/D 2.6$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	201	21.038	0	0	1.17	0.855361	0	0	0
28.5	173	18.107	24	60	1.17	0.736206	0.004482	0.027479	0.037324
28.5	162	16.956	30.2	80	1.17	0.689395	0.0062	0.035595	0.051632
28.5	150	15.700	36.4	100	1.17	0.638329	0.007917	0.042091	0.06594
28.5	145	15.177	42.6	110	1.17	0.617051	0.008391	0.043119	0.06988
28.5	142	14.863	48.8	120	1.17	0.604285	0.008864	0.044608	0.07382
28.5	138	14.444	55	130	1.17	0.587263	0.009337	0.045665	0.077759
28.5	128	13.397	61.2	140	1.17	0.544707	0.00981	0.044502	0.081699
28.5	119	12.455	67.4	150	1.17	0.506408	0.010283	0.043368	0.085639
28.5	100	10.46667	79.8	170	1.17	0.425553	0.011229	0.039797	0.093519
28.5	93	9.734	92.2	180	1.17	0.395764	0.01093	0.036026	0.09103
28.5	80	8.373333	104.6	190	1.17	0.340442	0.010631	0.030143	0.088542
28.5	0	0	117	210	1.17	0	0.011577	0	#DIV/0!

Tabel A.58 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 4.4 \text{ m/s}$, $S/D 2.6$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	235	24.597	0	0	1.17	0.863678	0	0	0
28.5	218	22.817	24	62	1.17	0.8012	0.004731	0.023544	0.029386
28.5	200	20.933	30.2	90	1.17	0.735045	0.007444	0.033991	0.046244
28.5	193	20.201	36.4	108	1.17	0.709319	0.008913	0.039274	0.055369
28.5	182	19.049	48.8	130	1.17	0.668891	0.010108	0.042001	0.062793
28.5	172	18.003	61.2	152	1.17	0.632139	0.011304	0.044387	0.070216
28.5	154	16.119	73.6	180	1.17	0.565985	0.013246	0.046569	0.08228
28.5	137	14.339	86	200	1.17	0.503506	0.014192	0.044388	0.088157
28.5	123	12.874	98.4	220	1.17	0.452053	0.015138	0.042509	0.094034
28.5	102	10.676	110.8	240	1.17	0.374873	0.016084	0.037454	0.099912
28.5	89	9.315333	123.2	250	1.17	0.327095	0.015785	0.032074	0.098056
28.5	58	6.070667	135.6	260	1.17	0.213163	0.015486	0.020506	0.0962
28.5	35	3.663333	148	270	1.17	0.128633	0.015188	0.012136	0.094344
28.5	0	0	160.4	280	1.17	0	0	0	0

Tabel A.59 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 5 \text{ m/s}$, $S/D 2.6$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	291	30.458	0	0	1.17	0.941152	0	0	0
28.5	276	28.888	24	80	1.17	0.892639	0.006971	0.029935	0.033536
28.5	268	28.051	48.8	130	1.17	0.866766	0.010108	0.042148	0.048627
28.5	245	25.643	73.6	200	1.17	0.792379	0.015735	0.059979	0.075695
28.5	235	24.597	98.4	240	1.17	0.760037	0.017628	0.064449	0.084797
28.5	220	23.027	123.2	280	1.17	0.711524	0.01952	0.066812	0.0939
28.5	206	21.561	148	320	1.17	0.666245	0.021412	0.068625	0.103002
28.5	195	20.410	172.8	350	1.17	0.630669	0.022059	0.066924	0.106116
28.5	168	17.584	197.6	390	1.17	0.543346	0.023952	0.062604	0.115219
28.5	149	15.59533	222.4	430	1.17	0.481896	0.025844	0.05991	0.124321
28.5	130	13.60667	247.2	470	1.17	0.420446	0.027736	0.056098	0.133424
28.5	121	12.66467	272	500	1.17	0.391338	0.028383	0.053433	0.136538
28.5	104	10.88533	296.8	540	1.17	0.336357	0.030276	0.048987	0.14564
28.5	95	9.943333	327.8	580	1.17	0.307249	0.031396	0.046404	0.15103
28.5	82	8.582667	358.8	630	1.17	0.265204	0.033761	0.043071	0.162408
28.5	69	7.222	389.8	670	1.17	0.22316	0.034882	0.037446	0.167798
28.5	38	3.977333	420.8	700	1.17	0.1229	0.034757	0.020549	0.167199
28.5	0	0	451.8	770	1.17	#DIV/0!	0.039612	#DIV/0!	#DIV/0!

Tabel A.60 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 6 \text{ m/s}$, $S/D 2.6$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	357	37.366	0	0	1.17	0.962175	0	0	0
28.5	334	34.959	24	80	1.17	0.900186	0.006971	0.020964	0.023289
28.5	320	33.493	55	150	1.17	0.862453	0.011826	0.034073	0.039508
28.5	311	32.551	86	200	1.17	0.838197	0.014192	0.039738	0.047409
28.5	299	31.295	117	260	1.17	0.805855	0.017802	0.047924	0.059469
28.5	284	29.725	148	340	1.17	0.765427	0.023902	0.061117	0.079847
28.5	276	28.888	179	390	1.17	0.743866	0.026267	0.065273	0.087748
28.5	267	27.946	210	450	1.17	0.71961	0.029877	0.071823	0.099808
28.5	260	27.213	241	490	1.17	0.700743	0.030998	0.072563	0.103551
28.5	245	25.64333	303	560	1.17	0.660316	0.031994	0.070573	0.106878
28.5	230	24.07333	334	600	1.17	0.619888	0.033114	0.068573	0.110621
28.5	215	22.50333	365	640	1.17	0.579461	0.034234	0.066269	0.114364
28.5	208	21.77067	396	675	1.17	0.560595	0.034732	0.065044	0.116027
28.5	188	19.67733	427	710	1.17	0.506691	0.03523	0.059633	0.117691
28.5	170	17.79333	458	750	1.17	0.458178	0.036351	0.055638	0.121434
28.5	159	16.642	489	780	1.17	0.428532	0.036226	0.05186	0.121018
28.5	139	14.54867	520	810	1.17	0.374628	0.036102	0.045181	0.120602
28.5	90	9.42	582	860	1.17	0.242565	0.034608	0.028043	0.115611
28.5	0	0	644	880	1.17	0	0.029379	0	#DIV/0!

Tabel A.61 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 7 \text{ m/s}$, $S/D 2.6$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	417	43.646	0	0	1.17	0.96333	0	0	0
28.5	383	40.087	24	120	1.17	0.884785	0.011951	0.025952	0.029331
28.5	366	38.308	55	210	1.17	0.845512	0.019296	0.040042	0.047358
28.5	342	35.796	117	340	1.17	0.790069	0.027761	0.053831	0.068135
28.5	322	33.703	179	460	1.17	0.743866	0.034981	0.063865	0.085856
28.5	307	32.133	241	560	1.17	0.709214	0.039712	0.069124	0.097466
28.5	288	30.144	303	660	1.17	0.665321	0.044443	0.072571	0.109076
28.5	268	28.051	365	770	1.17	0.619118	0.050418	0.076611	0.123742
28.5	262	27.423	427	850	1.17	0.605257	0.052659	0.078225	0.129242
28.5	256	26.79467	489	930	1.17	0.591397	0.0549	0.079886	0.134741
28.5	229	23.96867	551	1030	1.17	0.529023	0.05963	0.077423	0.146352
28.5	222	23.236	613	1100	1.17	0.512852	0.060626	0.07631	0.148796
28.5	208	21.77067	675	1170	1.17	0.48051	0.061622	0.072672	0.15124
28.5	197	20.61933	737	1240	1.17	0.455098	0.062618	0.069942	0.153685
28.5	172	18.00267	799	1320	1.17	0.397345	0.064859	0.063251	0.159184
28.5	134	14.02533	892	1420	1.17	0.309559	0.06573	0.049939	0.161323
28.5	82	8.582667	923	1460	1.17	0.189432	0.066851	0.031081	0.164073
28.5	41	4.291333	1047	1600	1.17	0.094716	0.068842	0.016003	0.168961
28.5	0	0	1078	2020	1.17	0	0.117269	0	0

Tabel A.62 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 8 \text{ m/s}$, $S/D 2.6$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	469	49.089	0	0	1.17	0.948025	0	0	0
28.5	449	46.995	24	100	1.17	0.907597	0.009461	0.016136	0.017778
28.5	420	43.960	86	260	1.17	0.848978	0.021661	0.034556	0.040703
28.5	405	42.390	148	360	1.17	0.818657	0.026392	0.040599	0.049592
28.5	392	41.029	210	460	1.17	0.792379	0.031122	0.04634	0.058481
28.5	363	37.994	272	590	1.17	0.733759	0.039587	0.054583	0.074388
28.5	346	36.215	334	700	1.17	0.699396	0.045563	0.05988	0.085617
28.5	325	34.017	396	810	1.17	0.656947	0.051538	0.063622	0.096845
28.5	304	31.819	458	920	1.17	0.614498	0.057514	0.066411	0.108074
28.5	295	30.87667	489	970	1.17	0.596306	0.059879	0.067095	0.112518
28.5	280	29.30667	520	1030	1.17	0.565985	0.063489	0.067523	0.119302
28.5	254	26.58533	613	1160	1.17	0.513429	0.068095	0.065697	0.127958
28.5	228	23.864	675	1260	1.17	0.460874	0.072826	0.063069	0.136847
28.5	208	21.77067	768	1380	1.17	0.420446	0.076187	0.060192	0.143163
28.5	182	19.04933	861	1480	1.17	0.36789	0.077059	0.053271	0.1448
28.5	154	16.11867	971	1610	1.17	0.311292	0.079548	0.046531	0.149479
28.5	117	12.246	1131	1780	1.17	0.236501	0.080793	0.035905	0.151818
28.5	75	7.85	1303	1950	1.17	0.151603	0.080544	0.022945	0.15135
28.5	51	5.338	1617	2270	1.17	0.10309	0.081291	0.015747	0.152754
28.5	0	0	1741	2450	1.17	0	0.088263	0	0

Tabel A.63 Data hasil experiment turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada $V = 9 \text{ m/s}$, $S/D 2.6$

T (°C)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
28.5	517	54.113	0	0	1.17	0.928934	0	0	0
28.5	470	49.193	24	170	1.17	0.844486	0.018175	0.022789	0.026985
28.5	440	46.053	86	330	1.17	0.790582	0.030375	0.035654	0.045099
28.5	410.8	42.997	148	460	1.17	0.738116	0.038841	0.042565	0.057667
28.5	398	41.657	210	550	1.17	0.715118	0.042326	0.04494	0.062842
28.5	375	39.250	272	660	1.17	0.673792	0.048302	0.04832	0.071714
28.5	340	35.587	334	800	1.17	0.610904	0.058012	0.052618	0.086131
28.5	321	33.598	396	910	1.17	0.576766	0.063987	0.054794	0.095003
28.5	307	32.133	458	1010	1.17	0.551611	0.068718	0.056279	0.102026
28.5	300	31.4	520	1100	1.17	0.539033	0.072204	0.057785	0.107202
28.5	281	29.41133	582	1220	1.17	0.504895	0.079424	0.059538	0.117922
28.5	274	28.67867	644	1310	1.17	0.492317	0.08291	0.060603	0.123097
28.5	260	27.21333	706	1430	1.17	0.467162	0.09013	0.062514	0.133817
28.5	241	25.22467	768	1540	1.17	0.433023	0.096105	0.061788	0.142689
28.5	228	23.864	830	1630	1.17	0.409665	0.099591	0.060575	0.147864
28.5	209	21.87533	892	1700	1.17	0.375527	0.100587	0.056082	0.149343
28.5	186	19.468	1064	1890	1.17	0.334201	0.102828	0.051022	0.15267
28.5	166	17.37467	1236	2060	1.17	0.298265	0.102579	0.045426	0.1523
28.5	132	13.816	1298	2130	1.17	0.237175	0.103575	0.036472	0.153779
28.5	117	12.246	1550	2390	1.17	0.210223	0.104571	0.032639	0.155258
28.5	82	8.582667	1710	2560	1.17	0.147336	0.105816	0.023147	0.157106
28.5	0	0	#REF!	2610	1.17	0	#REF!	#REF!	#REF!

Tabel A.64 Data *Coefficient of Static Torque* turbin angin savonius tanpa dan dengan silinder pengganggu pada $V = 3.8$ m/s

Sudut	$V = 3,8$ m/s	
	Tanpa Pengganggu	Dengan Pengganggu
0	0.02	0.06
10	0.08	0.09
20	0.10	0.14
30	0.15	0.18
40	0.10	0.14
50	0.08	0.09
60	0.02	0.07
70	-0.04	0.03
80	-0.09	0.02
90	-0.14	-0.02
100	-0.16	-0.05
110	-0.20	-0.09
120	-0.23	-0.10
130	-0.25	-0.14
140	-0.29	-0.15
150	-0.32	-0.17
160	-0.19	-0.10
170	-0.06	0.02
180	0.02	0.06

Tabel A.65 Data *Coefficient of Static Torque* turbin angin savonius tanpa dan dengan silinder pengganggu pada $V = 4.4$ m/s

Sudut	$V = 4,4$ m/s	
	Tanpa Pengganggu	Dengan Pengganggu
0	0.04	0.07
10	0.08	0.11
20	0.11	0.13
30	0.14	0.18
40	0.11	0.12
50	0.07	0.10
60	0.04	0.07
70	0.02	0.05
80	0.01	0.04
90	-0.01	0.02
100	-0.03	0.01
110	-0.05	-0.02
120	-0.06	-0.03
130	-0.07	-0.04
140	-0.10	-0.05
150	-0.17	-0.07
160	-0.07	-0.03
170	-0.01	0.02
180	0.04	0.07

Tabel A.66 Data *Coefficient of Static Torque* turbin angin savonius tanpa dan dengan silinder pengganggu pada $V = 5$ m/s

Sudut	$V = 5$ m/s	
	Tanpa Pengganggu	Dengan Pengganggu
0	0.12	0.14
10	0.13	0.15
20	0.18	0.19
30	0.22	0.23
40	0.17	0.18
50	0.13	0.16
60	0.12	0.13
70	0.09	0.12
80	0.05	0.08
90	0.03	0.06
100	-0.01	0.04
110	-0.07	0.02
120	-0.12	0.01
130	-0.06	0.02
140	0.00	0.04
150	0.03	0.06
160	0.06	0.08
170	0.09	0.10
180	0.12	0.14

Tabel A.67 Data *Coefficient of Static Torque* turbin angin savonius tanpa dan dengan silinder pengganggu pada $V = 6$ m/s

Sudut	$V = 6$ m/s	
	Tanpa Pengganggu	Dengan Pengganggu
0	0.07	0.09
10	0.10	0.11
20	0.12	0.13
30	0.15	0.16
40	0.12	0.13
50	0.09	0.11
60	0.07	0.09
70	0.05	0.07
80	0.02	0.05
90	0.00	0.04
100	-0.03	0.03
110	-0.05	0.00
120	-0.08	-0.01
130	-0.05	0.01
140	-0.03	0.02
150	0.00	0.04
160	0.02	0.05
170	0.05	0.06
180	0.07	0.09

Tabel A.68 Data *Coefficient of Static Torque* turbin angin savonius tanpa dan dengan silinder pengganggu pada $V = 7$ m/s

Sudut	$V = 7$ m/s	
	Tanpa Pengganggu	Dengan Pengganggu
0	0.06	0.07
10	0.08	0.09
20	0.09	0.11
30	0.12	0.12
40	0.09	0.11
50	0.08	0.09
60	0.06	0.07
70	0.05	0.06
80	0.03	0.05
90	0.01	0.04
100	-0.02	0.03
110	-0.03	0.02
120	-0.04	0.01
130	-0.04	0.01
140	-0.05	0.00
150	-0.05	-0.02
160	-0.02	0.03
170	0.04	0.05
180	0.06	0.07

Tabel A.69 Data *Coefficient of Static Torque* turbin angin savonius tanpa dan dengan silinder pengganggu pada $V = 8$ m/s

Sudut	$V = 8$ m/s	
	Tanpa Pengganggu	Dengan Pengganggu
0	0.06	0.06
10	0.07	0.07
20	0.08	0.08
30	0.09	0.09
40	0.08	0.08
50	0.07	0.07
60	0.06	0.06
70	0.05	0.05
80	0.04	0.04
90	0.03	0.03
100	0.03	0.03
110	0.02	0.02
120	0.01	0.01
130	0.00	0.01
140	-0.01	0.00
150	-0.03	-0.01
160	0.01	0.01
170	0.03	0.04
180	0.06	0.06

Tabel A.70 Data *Coefficient of Static Torque* turbin angin savonius tanpa dan dengan silinder pengganggu pada $V = 9$ m/s

Sudut	$V = 9$ m/s	
	Tanpa Pengganggu	Dengan Pengganggu
0	0.04	0.05
10	0.05	0.06
20	0.07	0.07
30	0.08	0.08
40	0.06	0.07
50	0.05	0.06
60	0.04	0.05
70	0.03	0.04
80	0.03	0.03
90	0.02	0.03
100	0.01	0.02
110	0.01	0.01
120	0.00	0.01
130	-0.01	0.00
140	-0.02	-0.01
150	-0.03	-0.01
160	0.00	0.01
170	0.02	0.03
180	0.04	0.05

B. Perhitungan Uncertainty Pengukuran

Alat ukur yang digunakan pada penelitian memiliki ketelitian tertentu sehingga hasil yang ditunjukkan alat ukur memiliki nilai ketidakpastian (*uncertainty*). Dilakukan perhitungan nilai *uncertainty* pada eksperimen ini untuk mengetahui nilai *uncertainty* tersebut. Berikut merupakan hasil dari perhitungan *uncertainty* pada penelitian ini,

Tabel B.1 Hasil perhitungan *uncertainty* untuk beberapa parameter turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu pada CoP maksimum dengan $V = 3.8$ m/s

parameter	U _i	U _i (%)
ω (rad/s)	0.00074	0.07
λ	0.00732	0.73
ρ (kg/m ³)	0.00351	0.35
A (m ²)	0.00466	0.47
Td (Nm)	0.18657	18.66
Cop	0.18722	18.72
Cm	0.18707	18.71
Re	0.01424	1.42

Tabel B.2 Hasil perhitungan *uncertainty* untuk beberapa parameter turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu pada CoP maksimum dengan $V = 4.4 \text{ m/s}$

parameter	U _i	U _i (%)
ω (rad/s)	0.00061	0.06
λ	0.00689	0.69
ρ (kg/m ³)	0.00351	0.35
A (m ²)	0.00466	0.47
Td (Nm)	0.10395	10.40
Cop	0.1048	10.48
Cm	0.10457	10.46
Re	0.01403	1.40

Tabel B.3 Hasil perhitungan *uncertainty* untuk beberapa parameter turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu pada CoP maksimum dengan $V = 5 \text{ m/s}$

parameter	U _i	U _i (%)
ω (rad/s)	0.00053	0.05
λ	0.0068	0.68
ρ (kg/m ³)	0.00351	0.35
A (m ²)	0.00466	0.47
Td (Nm)	0.05513	5.51
Cop	0.05659	5.66
Cm	0.05618	5.62
Re	0.01399	1.40

Tabel B.4 Hasil perhitungan *uncertainty* untuk beberapa parameter turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu pada CoP maksimum dengan $V = 6 \text{ m/s}$

parameter	U_i	$U_i (\%)$
ω (rad/s)	0.00045	0.04
λ	0.0067	0.67
ρ (kg/m ³)	0.00351	0.35
A (m ²)	0.00466	0.47
Td (Nm)	0.0344	3.44
Cop	0.0365	3.65
Cm	0.03588	3.59
Re	0.01395	1.39

Tabel B.5 Hasil perhitungan *uncertainty* untuk beberapa parameter turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu pada CoP maksimum dengan $V = 7 \text{ m/s}$

parameter	U_i	$U_i (\%)$
ω (rad/s)	0.00039	0.04
λ	0.00664	0.66
ρ (kg/m ³)	0.00351	0.35
A (m ²)	0.00466	0.47
Td (Nm)	0.02286	2.29
Cop	0.02575	2.58
Cm	0.02488	2.49
Re	0.01392	1.39

Tabel B.6 Hasil perhitungan *uncertainty* untuk beberapa parameter turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu pada CoP maksimum dengan $V = 8 \text{ m/s}$

parameter	U_i	$U_i (\%)$
ω (rad/s)	0.00034	0.03
λ	0.0066	0.66
ρ (kg/m ³)	0.00351	0.35
A (m ²)	0.00466	0.47
Td (Nm)	0.02116	2.12
Cop	0.02414	2.41
Cm	0.02322	2.32
Re	0.0139	1.39

Tabel B.7 Hasil perhitungan *uncertainty* untuk beberapa parameter turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu pada CoP maksimum dengan $V = 9 \text{ m/s}$

parameter	U_i	$U_i (\%)$
ω (rad/s)	0.0003	0.03
λ	0.00657	0.66
ρ (kg/m ³)	0.00351	0.35
A (m ²)	0.00466	0.47
Td (Nm)	0.01758	1.76
Cop	0.02099	2.10
Cm	0.01994	1.99
Re	0.01389	1.39

Tabel B.8 Hasil perhitungan *uncertainty* untuk beberapa parameter turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada CoP maksimum dengan $V = 3.8 \text{ m/s}$

parameter	U _i	U _i (%)
ω (rad/s)	0.00066	0.07
λ	0.00702	0.70
ρ (kg/m ³)	0.00351	0.35
A (m ²)	0.00466	0.47
Td (Nm)	0.11442	11.44
Cop	0.11527	11.53
Cm	0.11506	11.51
Re	0.0141	1.41

Tabel B.9 Hasil perhitungan *uncertainty* untuk beberapa parameter turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada CoP maksimum dengan $V = 4.4 \text{ m/s}$

parameter	U _i	U _i (%)
ω (rad/s)	0.0006	0.06
λ	0.00689	0.69
ρ (kg/m ³)	0.00351	0.35
A (m ²)	0.00466	0.47
Td (Nm)	0.07722	7.72
Cop	0.07835	7.84
Cm	0.07805	7.81
Re	0.01403	1.40

Tabel B.10 Hasil perhitungan *uncertainty* untuk beberapa parameter turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada CoP maksimum dengan $V = 5 \text{ m/s}$

parameter	U _i	U _i (%)
ω (rad/s)	0.00055	0.05
λ	0.0068	0.68
ρ (kg/m ³)	0.00351	0.35
A (m ²)	0.00466	0.47
Td (Nm)	0.04691	4.69
Cop	0.04861	4.86
Cm	0.04814	4.81
Re	0.01399	1.40

Tabel B.11 Hasil perhitungan *uncertainty* untuk beberapa parameter turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada CoP maksimum dengan $V = 6 \text{ m/s}$

parameter	U _i	U _i (%)
ω (rad/s)	0.00043	0.04
λ	0.0067	0.67
ρ (kg/m ³)	0.00351	0.35
A (m ²)	0.00466	0.47
Td (Nm)	0.0285	2.85
Cop	0.031	3.10
Cm	0.03027	3.03
Re	0.01395	1.39

Tabel B.12 Hasil perhitungan *uncertainty* untuk beberapa parameter turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada CoP maksimum dengan $V = 7 \text{ m/s}$

parameter	U _i	U _i (%)
ω (rad/s)	0.00037	0.04
λ	0.00664	0.66
ρ (kg/m ³)	0.00351	0.35
A (m ²)	0.00466	0.47
Td (Nm)	0.02166	2.17
Cop	0.02469	2.47
Cm	0.02379	2.38
Re	0.01392	1.39

Tabel B.13 Hasil perhitungan *uncertainty* untuk beberapa parameter turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada CoP maksimum dengan $V = 8 \text{ m/s}$

parameter	U _i	U _i (%)
ω (rad/s)	0.00032	0.03
λ	0.0066	0.66
ρ (kg/m ³)	0.00351	0.35
A (m ²)	0.00466	0.47
Td (Nm)	0.02157	2.16
Cop	0.0245	2.45
Cm	0.0236	2.36
Re	0.0139	1.39

Tabel B.14 Hasil perhitungan *uncertainty* untuk beberapa parameter turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada CoP maksimum dengan $V = 9$ m/s

parameter	U _i	U _i (%)
ω (rad/s)	0.00031	0.03
λ	0.00657	0.66
ρ (kg/m ³)	0.00351	0.35
A (m ²)	0.00466	0.47
Td (Nm)	0.01517	1.52
C _{op}	0.01902	1.90
C _m	0.01785	1.79
Re	0.01389	1.39

BIODATA PENULIS



Dionisius Jeremia dilahirkan di Jakarta 10 Oktober 1997. Pada tahun 2016 penulis menyelesaikan pendidikan tingkat menengah atas di SMA St. Ursula BSD. Pada tahun 2020, penulis mampu menyelesaikan gelar sarjana di Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Rakayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Semasa kuliah, penulis aktif di Himpunan Mahasiswa Mesin ITS sebagai kepala departemen Pengembangan Profesi dan Ilmiah Mahasiswa. Penulis juga menjadi koordinator praktikum mekanika fluida 1 pada tahun 2019. Penulis dapat dihubungi melalui email dionisiusjr@gmail.com.