



TUGAS AKHIR – TM184835

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI UKURAN
DIAMETER SILINDER PENGGANGGU DI DEPAN
RETURNING BLADE TERHADAP PENINGKATAN
KINERJA TURBIN ANGIN SAVONIUS**

HILDA MAILIL HAQ

NRP. 0211154000014

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya, 2020



FINAL PROJECT – TM184835

***EXPERIMENTAL STUDY WITH DISTURBANCE
CYLINDER SIZE VARIATIONS PLACED IN FRONT OF
RETURNING BLADE ON SAVONIUS WIND TURBINE
EFFICIENCY ENHANCEMENT***

HILDA MAILIL HAQ

NRP. 0211154000014

Advisory Lecturer

Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA

DEPARTEMEN OF MECHANICAL ENGINEERING

Faculty of Industrial Technology and System Engineering

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya, 2020

HALAMAN PENGESAHAN
STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI UKURAN
DIAMETER SILINDER PENGGANGGU DI DEPAN
RETURNING BLADE TERHADAP PENINGKATAN KINERJA
TURBIN ANGIN SAVONIUS

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
Memperoleh gelar sarjana teknik
Program studi S1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Hilda Mailil Haq

NRP. 02111540000014

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA (Pembimbing)
NIP. 196001291987011001
2. Prof. Ir. Sutardi, M.Eng, PhD (Penguji I)
NIP. 196412281990031002
3. Vivien Suphandani, ST, ME, PhD (Penguji II)
NIP. 198105292003121002
4. Nur Ikhwan, ST, M.Eng (Penguji III)
NIP. 196709151995121001

SURABAYA
JANUARI, 2020

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI UKURAN
DIAMETER SILINDER PENGGANGGU DI DEPAN
RETURNING BLADE TERHADAP PENINGKATAN
KINERJA TURBIN ANGIN SAVONIUS**

“Studi Kasus untuk Ukuran Silinder Sirkular $S/D = 2,8$; $y/D = 0,5$; $d/D = 0,1$; $0,2$; $0,3$; $0,4$; $0,5$; $0,6$; $0,7$; $0,8$; $0,9$; $1,0$; $Re 9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$ ”

Nama Mahasiswa : Hilda Mailil Haq
NRP : 021 1 15 4000 0014
Departemen : Teknik Mesin FTIRS-ITS
Dosen Pembimbing: Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA

ABSTRAK

Pada tahun 2017 produksi *fossil fuel* bernilai 1.000.000 barel yang mana hal ini meningkat sebesar 80.000 barel dari tahun 2016. Tetapi masih belum memenuhi kebutuhan konsumsi *fossil fuel* pada tahun 2017 yaitu sebesar 1.620.000 barel (**Braithwaite & Invetta, 2019**). Hal ini dikarenakan sumber energi di Indonesia sebagian besar masih berasal dari *fossil fuel*. Sehingga dibutuhkan sumber energi lain guna memenuhi kebutuhan konsumsi yang tidak dapat dipenuhi oleh *fossil fuel*. Banyaknya pembakaran *fossil fuel* yang melebihi kemampuan tumbuhan dan laut untuk menyerap akan mengakibatkan peningkatannya konsentrasi gas karbon dioksida yang akan menyebabkan efek rumah kaca. Hal itu dapat mengakibatkan kerusakan pada lapisan ozon lainnya. Maka dari itu perlu adanya sumber energi alternatif terbarukan untuk mengurangi kadar CO_2 yang dihasilkan oleh penggunaan *fossil fuel*. Salah satu energi alternatif yang ditawarkan adalah penggunaan energi angin untuk menciptakan energi lainnya. Turbin yang ideal untuk pemanfaatan energi angin tenaga listrik ini adalah turbin Savonius.

Pada penelitian ini digunakan turbin angin Savonius yang memiliki sudu dengan diameter turbin (D) sebesar 167,1 mm, diameter *end plate* (D_0) sebesar 335,28 mm, dan tinggi (H) sebesar 298 mm. Silinder pengganggu dipasang didepan *returning blade* dengan letak pengganggu terhadap *returning blade* (S/D) sebesar 2,8. Silinder pengganggu ini digunakan untuk mengurangi gaya *drag* yang terjadi pada *returning blade*. Untuk sumber alirannya digunakan *axial fan* dan digunakan *honeycomb* untuk penyeragam aliran yang menuju turbin angin Savonius. Penelitian ini dilakukan dengan variasi diameter silinder dan diameter turbin (d/D) sebesar 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; dan 1,0 serta variasi bilangan Reynolds sebesar $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$. Pada penelitian ini alat ukur yang digunakan adalah *tachometer* sebagai pengukur kecepatan putar turbin, *anemometer* sebagai pengukur kecepatan aliran, *torque meter* sebagai pengukur torsi statis, dan *brake dynamometer* sebagai pengukur torsi dinamis.

Hasil dari penelitian yang telah dilakukan yaitu dengan penambahan silinder pengganggu didepan *returning blade* turbin mampu meningkatkan kinerja turbin Savonius. Penambahan silinder pengganggu pada posisi $y/D = 0,5$ dengan jarak $S/D = 2,8$ paling efektif meningkatkan nilai *coefficient of power* (CoP) serta *coefficient of moment* (CM) pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ untuk ukuran $d/D = 0,6$ yaitu dengan peningkatan sebesar 1,32 dari nilai *coefficient of power* turbin Savonius tanpa silinder pengganggu. Selain itu dengan penambahan silinder pengganggu dapat meningkatkan nilai torsi statis yang menyebabkan turbin Savonius memiliki *self starting* pada semua posisi angular sudu.

Kata Kunci: *Fossil fuel*, energi terbarukan, turbin Savonius, *coefficient of power*, *coefficient of moment*.

**EXPERIMENTAL STUDY WITH DISTURBANCE
CYLINDER SIZE VARIATIONS PLACED IN FRONT OF
RETURNING BLADE ON SAVONIUS WIND TURBINE
EFFICIENCY ENHANCEMENT**

**“Case Study with Rato Variation $S/D = 2,8$; $y/D = 0,5$; $d/D = 0,1$;
 $0,2$; $0,3$; $0,4$; $0,5$; $0,6$; $0,7$; $0,8$; $0,9$; $1,0$; $Re\ 9,7 \times 10^4$ and $13,6 \times 10^4$ ”**

Student’s Name : Hilda Mailil Haq
NRP : 021 1 15 4000 0014
Departement : Teknik Mesin FTI-ITS
Advisory Lecturer : Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA

ABSTRACT

In 2017 the production of fossil fuel was worth 1,000,000 barrels which increased by 80,000 barrels from 2016. But it still did not meet the needs of fossil fuel consumption in 2017 which amounted to 1,620,000 barrels (Braithwaite & Invetta, 2019). This is because most energy sources in Indonesia still come from fossil fuels. So we need another energy source to meet consumption needs. The number of fossil fuel combustion that exceeds the ability of plants and the sea to absorb will cause an increase in carbon dioxide gas concentration which will cause the greenhouse effect. It can cause damage to the ozone layers. Therefore it is necessary to have an alternative renewable energy source to reduce CO2 levels produced by the use of fossil fuels. One alternative energy offered is the use of wind energy. The ideal turbine for the utilization of wind power electric power is the Savonius turbine. In this study, we used Savonius wind turbines which have blades with a turbine diameter (D) of 167.1 mm, endplate (Do) diameter of 335.28 mm, and height (H) of 298 mm. A disturbance of a circular cylinder shape was installed in front of the returning blade with the location of the cylinder against the returning blade (S / D) of 2.8, to reduce the drag force that occurs on the returning blade. An

axial fan is used for the source of the flow, we also added a honeycomb to uniform the flow that going into the Savonius wind turbine. This research was carried out with variations in a disturbance of a circular cylinder shape with size ratio (d / D) of 0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9; and 1.0 and variations of Reynolds numbers of 9.7×10^4 and 13.6×10^4 . In this study, the measuring instrument used was a tachometer as a turbine rotational speed gauge, anemometer as a flow velocity gauge, torque meter as a static torque gauge, and brake dynamometer as a dynamic torque gauge. The results of the research that has been done is that the addition of a disturbance of a circular cylinder shape in front of the returning blade turbine can improve the performance of the Savonius turbine. The addition of the cylinder at position $y / D = 0.5$ with distance $S / D = 2.8$ is most effective in increasing the value of coefficient of power (CoP) and the coefficient of moment (CM) at Reynolds number of 9.7×10^4 and size $d / D = 0.6$, namely an increase of 1.32 from the coefficient of power (CoP) of the Savonius turbine without the disturbance cylinders. Also, the addition of a disturbance cylinder can increase the static torque value which causes the Savonius turbine to have self startings at all angular positions of the blade.

Keywords: Fossil fuel, Renewable Energi, Savonius turbine, coefficient of power, coefficient of moment.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, hanya karena tuntunan-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan Pendidikan Sarjana S-1 di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penyusunan Tugas Akhir ini dapat terlaksana dengan baik berkat bantuan dan kerjasama dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu Ema Herawati, Bapak Herwanto, Muhammad Rifqi, Nurul Amalia, Nabila Muti Karimah serta seluruh keluarga yang senantiasa memberi dukungan dan doa kepada penulis.
2. Prof. Ir. Triyogi Yuwono, DEA selaku dosen pembimbing yang memberikan arahan dalam penulisan Tugas Akhir ini.
3. Sahabat almamater saya, Amirah Rifdah Imtinan dan Hasnaa Brilian Muslimah yang senantiasa menemani saya sejak awal masuk ke dunia perkuliahan hingga saat ini.
4. Teman terbaik selama masa perkuliahan saya, Junaida Zamzami, Rasyidah Fadhlillah, serta Asri Melati Wijayanti yang tak kenal lelah kebersamai penulis hingga saat ini.
5. Teman diskusi saya, Abdul Jabbar I'jazurrohman, Tomy Alberto Manurung, Juan Carlos Marcos, Rasyidah Fadhlillah yang selama satu tahun menemani penulis untuk menyelesaikan tanggung jawabnya.
6. Teman main saya selama di Surabaya, Mutiara Puspa Kusumiyati, Barelvi Ghazy Daffa, Ivan Ramadhan Arifin, Muhammad Rizky Ramadhan, Vito Hanif Addinuri yang mengajarkan penulis arti "beristirahatlah sejenak ketika lelah sudah menjerit".
7. Adik-adik M61 terkhusus SC 2 yang tiada henti mengajarkan arti keluarga tanpa hubungan darah kepada saya.

8. Serta seluruh pihak yang telah banyak membantu penulis selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini

Penulis menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih memiliki banyak kesalahan dan kekurangan hingga jauh dari kata sempurna, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Guna penambahan wawasan serta keperluan studi lainnya untuk pengembangan yang lebih lanjut, semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan pengetahuan, dan dapat bermanfaat bagi siapapun yang membacanya.

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	5
1.3. Batasan Masalah.....	6
1.4. Tujuan Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Turbin Angin.....	7
2.1.1. Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)	8
2.1.2. Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)	9
2.2. Turbin Angin Savonius	10
2.3. Gaya Drag	12
2.4. Bilangan Reynolds (Re).....	13
2.5. Coefficient of Power (CoP).....	15
2.6. Tip Speed Ratio (TSR)	16
2.7. Aliran Melintasi Sebuah Silinder	17
2.8. Perhitungan Torsi Statis.....	18
2.9. Perhitungan Torsi Dinamis	19

2.10.	Perhitungan Daya Turbin Teoritis	19
2.11.	Perhitungan Daya Turbin Aktual.....	20
2.12.	Penelitian Terdahulu	21
2.12.1	Penelitian Silinder dengan Pengganggu	21
2.12.2	Studi Eksperimen Peningkatan Performa Turbin Angin Savonius	24
2.12.3	Studi Eksperimen Pengaruh Silinder Pengganggu Terhadap Performa Turbin Angin Savonius	29
2.12.4	Studi Pengaruh Penempatan Silinder Pengganggu Didepan Silinder Sirkular Utama Terhadap Penurunan Drag	44
BAB III METODOLOGI.....		51
3.1.	Analisa Parameter.....	51
3.2.	Analisa Dimensi Coefficient of Power (CoP)	53
3.3.	Analisa Dimensi Coefficient of Moment (C_M).....	56
3.4.	Peralatan Penelitian	58
3.4.2.	Honeycomb	59
3.4.3.	Turbin Savonius.....	60
3.4.4.	Silinder Pengganggu	60
3.4.5.	Penyangga Turbin Angin Savonius	61
3.4.6.	Alat Ukur.....	62
3.5.	Prosedur Penelitian.....	68
3.5.1.	Torsi Dinamis	68
3.5.2.	Torsi Statis.....	70
3.6.	Flowchart Penelitian	71

3.6.1.	Torsi Dinamis	71
3.6.2.	Torsi Statis.....	75
3.7.	Perhitungan Uncertainty	76
3.8.	Hasil yang Diperoleh.....	78
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN		81
4.1.	Data Penelitian dan Contoh Perhitungan	81
4.1.1	Perhitungan Bilangan Reynolds	81
4.1.2	Perhitungan Tip Speed Ratio (λ)	84
4.1.3	Perhitungan Torsi Dinamis.....	84
4.1.4	Perhitungan Coefficient of Power (CoP).....	85
4.1.5	Perhitungan Coefficient of Moment (CM).....	85
4.2.	Analisa Kinerja Turbin Savonius Tanpa Silinder Pengganggu	86
4.2.1	Analisa Nilai Coefficient of Power Tanpa Silinder Pengganggu (CoP ₀) Fungsi Tip Speed Ratio (λ).....	86
4.2.2	Analisa Nilai Coefficient of Moment Tanpa Silinder Pengganggu (CM ₀) Fungsi Tip Speed Ratio (λ).....	88
4.2.3	Analisa Nilai Torsi Statis Tanpa Silinder Pengganggu (TS ₀) Fungsi Sudut (θ).....	90
4.3.	Analisa Kinerja Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu	92
4.3.1	Analisa Nilai Coefficient of Power (CoP) Fungsi Tip Speed Ratio (λ) Pada Bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$	93
4.3.2	Analisa Nilai Coefficient of Power Maximum Turbin Savonius Dengan dan Tanpa Siliner Pengganggu	

(CoP _{max} /CoP _{0max}) Terhadap Variasi d/D Pada Bilangan Reynolds 9,7x10 ⁴ dan 13,6x10 ⁴	97
4.3.3 Analisa Nilai Coefficient of Moment (CM) Fungsi Tip Speed Ratio (λ) Pada Bilangan Reynolds 9,7x10 ⁴ dan 13,6x10 ⁴	99
4.3.4 Analisa Nilai Torsi Statis (TS) Fungsi Sudut (θ) Pada Bilangan Reynolds 9,7x10 ⁴ dan 13,6x10 ⁴	103
4.4. Analisa Nilai CoP _{max} /CoP _{0max} Terhadap Penempatan Silinder Pengganggu	106
4.4.1. Analisa Nilai CoP _{max} /CoP _{0max} Terhadap Variasi d/D	106
4.4.2. Analisa Nilai CoP _{max} /CoP _{0max} Terhadap Variasi S/D	108
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	113
5.1. Kesimpulan	113
5.2. Saran	115
DAFTAR PUSTAKA	117
LAMPIRAN	119
BIODATA PENULIS	161

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ilustrasi Turbin Angin (Kaynia, 2019)	8
Gambar 2. 2 Ilustrasi Turbin Angin Horizontal (Sivamani et al., 2019)	9
Gambar 2. 3 Ilustrasi Turbin Angin Darrieus (Darrieus, Darrieus, & Laboratories, 2015).....	10
Gambar 2. 4 Ilustrasi Turbin Savonius (Hassan Saeed, Nagib Elmekawy, & Kassab, 2019).....	11
Gambar 2. 5 Ilustrasi Turbin Savonius	14
Gambar 2. 6 Grafik Hubungan antara Coefficient Of Power dengan Tip Speed Ratio untuk Berbagai Jenis Turbin Angin (Al-Shemmeri, 2010)	16
Gambar 2. 7 Aliran Viscous dan Aliran Inviscid pada Bola Pejal (Pritchard, 2011).....	17
Gambar 2. 8 Pengaruh Aliran Turbulensi terhadap Titik Separasi (Incropera, 2007)	18
Gambar 2. 9 FBD Brake Dynamometer	21
Gambar 2. 10 Geometri Benda Uji (Tsutsui & Igarashi, 2002) ..	22
Gambar 2. 11 Grafik Bilangan Strouhal dan Koefisien Drag (Tsutsui & Igarashi, 2002)	22
Gambar 2. 12 Grafik Distribusi Tekanan pada Silinder Sirkuler Utama (Tsutsui & Igarashi, 2002)	23
Gambar 2. 13 Skema Turbin Angin Savonius Single Stage (a) Tampak Samping dan (b) Tampak Atas (Mahmoud, El-Haroun, Wahba, & Nasef, 2012).....	24
Gambar 2. 14 Hubungan antara Coefficient Of Power dan Kecepatan Angin pada Turbin Savonius dengan Dua, Tiga, dan Empat Blades (Mahmoud et al., 2012).....	25
Gambar 2. 15 Hubungan antara Koefisien Torsi Statis dan Kecepatan Angin pada Turbin Savonius dengan Dua, Tiga, dan Empat Blades (a) Aspect Ratio=0,5 dan (b) Aspect Ratio=5 (Mahmoud et al., 2012).....	26

Gambar 2. 16 Hubungan antara Mechanical Power dan Kecepatan Angin pada Turbin Savonius dengan Dua, Tiga, dan Empat Blades (a) Aspect Ratio = 0,5; Single Stage, (b)	26
Gambar 2. 17 Hubungan antara Specific Power dan Kecepatan Sngin pada Turbin Savonius Single Stage dan Double Stages (Mahmoud et al., 2012).....	27
Gambar 2. 18 Hubungan antara Torsi Statis dan Kecepatan Angin pada Turbin Savonius Single Stage dan Double Stages (Mahmoud et al., 2012).....	27
Gambar 2. 19 Hubungan antara Mechanical Power dan Kecepatan Angin pada Turbin Savonius dengan Variasi Overlap Ratio (Mahmoud et al., 2012).....	28
Gambar 2. 20 Hubungan antara Coefficient Of Power dan Kecepatan Angin pada Turbin Savonius dengan Variasi Aspect Ratio (Mahmoud et al., 2012).....	28
Gambar 2. 21 Hubungan antara Mechanical Power dan Kecepatan Angin pada Turbin Savonius dengan Adanya End Plate dan Tanpa End Plate (Mahmoud et al., 2012).....	29
Gambar 2. 22 Skema Turbin Savonius (Zulhan & Yuwono, 2018)	30
Gambar 2. 23 Grafik Putaran Poros terhadap Bilangan Reynolds (Zulhan & Yuwono, 2018)	30
Gambar 2. 24 Grafik CM terhadap Tip Speed Ratio tanpa Penghalang (Zulhan & Yuwono, 2018)	31
Gambar 2. 25 Grafik CoP terhadap Tip Speed Ratio (Zulhan & Yuwono, 2018)	32
Gambar 2. 26 Grafik Torsi Statis terhadap sudut (Zulhan & Yuwono, 2018)	33
Gambar 2. 27 Grafik Putaran Poros terhadap Bilangan Reynolds pada Turbin Tanpa Penghalang dengan Turbin Berpenghalang pada Posisi $y/D = 0,0$ (Zulhan & Yuwono, 2018)	34
Gambar 2. 28 Grafik Putaran Poros terhadap Bilangan Reynolds pada Turbin Tanpa Penghalang dengan Turbin Berpenghalang pada Posisi $y/D = 0,25$ (Zulhan & Yuwono, 2018)	34

Gambar 2. 29 Grafik Putaran Poros terhadap Bilangan Reynolds pada Turbin Tanpa Penghalang dengan Turbin Berpenghalang pada Posisi $y/D = 0,5$.(Zulhan & Yuwono, 2018)	35
Gambar 2. 30 Grafik CM terhadap Tip Speed Ratio dengan Penghalang pada Posisi Bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ (Zulhan & Yuwono, 2018).....	36
Gambar 2. 31 Grafik CM terhadap Tip Speed Ratio dengan Penghalang pada Posisi Bilangan Reynolds $14,5 \times 10^4$ (Zulhan & Yuwono, 2018).....	36
Gambar 2. 32 Grafik CM terhadap Tip Speed Ratio dengan Penghalang pada Posisi Bilangan Reynolds $17,8 \times 10^4$ (Zulhan & Yuwono, 2018).....	37
Gambar 2. 33 Grafik CoP terhadap Tip Speed Ratio dengan Variasi Posisi y/D pada Bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ (Zulhan & Yuwono, 2018).....	38
Gambar 2. 34 Grafik CoP terhadap Tip Speed Ratio dengan Variasi Posisi y/D pada Bilangan Reynolds $14,5 \times 10^4$ (Zulhan & Yuwono, 2018).....	38
Gambar 2. 35 Grafik CoP terhadap Tip Speed Ratio dengan Variasi Posisi y/D pada Bilangan Reynolds $17,8 \times 10^4$ (Zulhan & Yuwono, 2018).....	39
Gambar 2. 36 Grafik Torsi Statis Berpenghalang pada Posisi $y/D : 0,5$ terhadap Sudut Buka-an Turbin dengan Variasi Bilangan Reynolds. (Zulhan & Yuwono, 2018).....	40
Gambar 2. 37 Grafik Komparasi Torsi Statis antara Turbin Angin Tanpa Penghalang dengan Turbin Angin Berpenghalang pada Bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ (Zulhan & Yuwono, 2018) ...	41
Gambar 2. 38 Grafik Komparasi Torsi Statis antara Turbin Angin Tanpa Penghalang dengan Turbin Angin Berpenghalang pada Bilangan Reynolds $14,5 \times 10^4$ (Zulhan & Yuwono, 2018)..	41
Gambar 2. 39 Grafik Komparasi Torsi Statis antara Turbin Angin Tanpa Penghalang dengan Turbin Angin Berpenghalang pada Bilangan Reynolds $17,8 \times 10^4$ (Zulhan & Yuwono, 2018)..	42
Gambar 3. 1 Skema Penelitian Turbin Savonius.....	51
Gambar 3. 2 Skema Penelitian dan Parameter Ukur	52

Gambar 3. 3 Axial Fan CKE SPV-18.....	59
Gambar 3. 4 Honeycomb.....	59
Gambar 3. 5 Turbin Savonius	60
Gambar 3. 6 Silinder Pengganggu.....	61
Gambar 3. 7 Penyangga Turbin Savonius	62
Gambar 3. 8 Tachometer	63
Gambar 3. 9 Anemometer.....	64
Gambar 3. 10 Brake Dynamometer.....	65
Gambar 3. 11 Torque meter	66
Gambar 3. 12 Voltage Regulator.....	67
Gambar 3. 13 Neraca Pegas	67
Gambar 3. 14 Pemberat	68
Gambar 3. 15 Flowchart Torsi Dinamis	74
Gambar 3. 16 Flowchart Torsi Statis.....	76
Gambar 4. 1 Grafik Coefficient of Power Turbin Savonius Tanpa Silinder Pengganggu (CoP_0) Terhadap Tip Speed Ratio (λ)	87
Gambar 4. 2 Grafik Coefficient of Moment Turbin Savonius Tanpa Silinder Pengganggu (CM_0) Terhadap Tip Speed Ratio (λ).....	89
Gambar 4. 3 Grafik Torsi Statis Turbin Savonius Tanpa Silinder Pengganggu (TS_0) Terhadap Sudut (θ)	91
Gambar 4. 4 Grafik Perbandingan Coefficient of Power Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu (CoP) dan Tanpa Silinder Pengganggu (CoP_0) Terhadap Tip Speed Ratio (λ) pada $S/D = 2,8$ untuk Bilangan Reynolds (a) $9,7 \times 10^4$ dan (b) $13,6 \times 10^4$	94
Gambar 4. 5 Grafik Perbandingan <i>Coefficient of Power Maximal</i> Turbin Savonius Dengan dan Tanpa Silinder Pengganggu (CoP_{max}/CoP_{0max}) Terhadap Variasi d/D pada $S/D = 2,8$ untuk Bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$	98
Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan <i>Coefficient of Moment</i> Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu (CM) dan Tanpa Silinder Pengganggu (CM_0) Terhadap <i>Tip Speed Ratio</i> (λ) pada $S/D = 2,8$ untuk Bilangan Reynolds (a) $9,7 \times 10^4$ dan (b) $13,6 \times 10^4$	100

Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu (TS) dan Tanpa Silinder Pengganggu (TS ₀) Terhadap Sudut (θ) pada S/D = 2,8 untuk Bilangan Reynolds (a) $9,7 \times 10^4$ dan (b) $13,6 \times 10^4$	104
Gambar 4. 8 Grafik Perbandingan Coefficient of Power Maximal Turbin Savonius Dengan dan Tanpa Silinder Pengganggu (CoP _{max} /CoP _{0max}) Terhadap Variasi d/D pada S/D 1,6 sampai dengan 3,0 untuk Bilangan Reynolds (a) $9,7 \times 10^4$ dan (b) $13,6 \times 10^4$	107
Gambar 4. 9 Grafik Perbandingan Coefficient of Power Maximal Turbin Savonius Dengan dan Tanpa Silinder Pengganggu (CoP _{max} /CoP _{0max}) Terhadap Variasi S/D pada d/D 0,1 sampai dengan 1,0 untuk Bilangan Reynolds (a) $9,7 \times 10^4$ dan (b) $13,6 \times 10^4$	109
Gambar A. 1 Posisi Titik Pengujian Uniformity	119
Gambar A. 2 Grafik Distribusi Kecepatan Vertikal	120
Gambar A. 3 Grafik Distribusi Kecepatan Horizontal	120

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Data Nilai Koefisien Drag (C_D) untuk Beberapa Benda Pada $Re > 10^3$	13
Tabel 3. 1 Dimensi tiap parameter CoP	54
Tabel 3. 2 Dimensi tiap parameter CM	56
Tabel 3. 3 Spesifikasi Turbin Angin Savonius	60
Tabel 3. 4 Spesifikasi Tachometer OMEGA HHT12	63
Tabel 3. 5 Spesifikasi Anemometer OMEGA HH141	64
Tabel 3. 6 Spesifikasi Torque meter LUTRON model TQ-880066	67
Tabel 3. 7 Spesifikasi Powell Voltage Regulator.....	67
Tabel 3. 8 Spesifikasi Neraca Pegas NAGATA tipe C-5	68
Tabel 3. 9 Nilai Uncertainty pada Bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$..	78
Tabel 4. 1 Perbandingan Nilai Coefficient of Power Turbin Savonius Dengan dan Tanpa Silinder Pengganggu	95
Tabel 4. 2 Perbandingan Nilai Coefficient of Moment (CM) Turbin Savonius Dengan dan Tanpa Silinder Pengganggu	101
Tabel 4. 3 Perbandingan Nilai (CoP_{max}/CoP_{0max}) pada jarak $1,6 \leq S/D \leq 3,0$	110
Tabel A. 1 Data Keceragaman Kecepatan Angin.....	121
Tabel B. 1 Data Putaran, Coefficient of Power, Coefficient of Moment, dan Torsi Statis Turbin Savonius Tanpa Silinder Pengganggu pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$	122
Tabel B. 2 Data Putaran, Coefficient of Power, Coefficient of Moment, dan Torsi Statis Turbin Savonius Tanpa Silinder Pengganggu pada bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$	123
Tabel B. 3 Data Torsi Statis Turbin Savonius Tanpa Silinder Pengganggu	124

Tabel C. 1 Data Putaran Turbin, Coeffieicnt of Power, Coefficient of Moment, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,1$ dengan bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$	126
Tabel C. 2 Data Putaran Turbin, Coeffieicnt of Power, Coefficient of Moment, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,2$ dengan bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$	128
Tabel C. 3 Data Putaran Turbin, Coeffieicnt of Power, Coefficient of Moment, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,3$ dengan bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$	129
Tabel C. 4 Data Putaran Turbin, Coeffieicnt of Power, Coefficient of Moment, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,4$ dengan bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$	131
Tabel C. 5 Data Putaran Turbin, Coeffieicnt of Power, Coefficient of Moment, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,5$ dengan bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$	132
Tabel C. 6 Data Putaran Turbin, Coeffieicnt of Power, Coefficient of Moment, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,6$ dengan bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$	134
Tabel C. 7 Data Putaran Turbin, Coeffieicnt of Power, Coefficient of Moment, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,7$ dengan bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$	135
Tabel C. 8 Data Putaran Turbin, Coeffieicnt of Power, Coefficient of Moment, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,8$ dengan bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$	137

Tabel C. 9 Data Putaran Turbin, Coeffieicnt of Power, Coefficient of Moment, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,9$ dengan bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$	138
Tabel C. 10 Data Putaran Turbin, Coeffieicnt of Power, Coefficient of Moment, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 1,0$ dengan bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$	139
Tabel C. 11 Data Putaran Turbin, Coeffieicnt of Power, Coefficient of Moment, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,1$ dengan bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$	141
Tabel C. 12 Data Putaran Turbin, Coeffieicnt of Power, Coefficient of Moment, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,2$ dengan bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$	142
Tabel C. 13 Data Putaran Turbin, Coeffieicnt of Power, Coefficient of Moment, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,3$ dengan bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$	144
Tabel C. 14 Data Putaran Turbin, Coeffieicnt of Power, Coefficient of Moment, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,4$ dengan bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$	145
Tabel C. 15 Data Putaran Turbin, Coeffieicnt of Power, Coefficient of Moment, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,5$ dengan bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$	147
Tabel C. 16 Data Putaran Turbin, Coeffieicnt of Power, Coefficient of Moment, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,6$ dengan bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$	149

Tabel C. 17 Data Putaran Turbin, Coeffieicnt of Power, Coefficient of Moment, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,7$ dengan bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$	150
Tabel C. 18 Data Putaran Turbin, Coeffieicnt of Power, Coefficient of Moment, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,8$ dengan bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$	151
Tabel C. 19 Data Putaran Turbin, Coeffieicnt of Power, Coefficient of Moment, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,9$ dengan bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$	152
Tabel C. 20 Data Putaran Turbin, Coeffieicnt of Power, Coefficient of Moment, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 1,0$ dengan bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$	154

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia akan mengalami krisis energi. Pada tahun 2017 produksi *fossil fuel* bernilai 1.000.000 barel yang mana hal ini meningkat sebesar 80.000 barel dari tahun 2016. Tetapi masih belum memenuhi kebutuhan konsumsi *fossil fuel* pada tahun 2017 yaitu sebesar 1.620.000 barel (**Braithwaite & Invetta, 2019**). Hal ini dikarenakan sumber energi di Indonesia sebagian besar masih berasal dari *fossil fuel*. Sehingga dibutuhkan sumber energi lain guna memenuhi kebutuhan konsumsi yang tidak dapat dipenuhi oleh *fossil fuel*. *Fossil fuel* menghasilkan gas karbon yang mana ketika gas tersebut bercampur dengan udara bebas akan menghasilkan gas karbon dioksida. Banyaknya pembakaran *fossil fuel* yang melebihi kemampuan tumbuhan dan laut untuk menyerap akan mengakibatkan peningkatnya konsentrasi gas karbondioksida yang akan menyebabkan efek rumah kaca.

Rumah kaca biasanya akan digunakan untuk menanam sayuran, buah-buahan, bunga dan lainnya. Rumah kaca ini biasanya dimiliki oleh para petani yang berada di negara 4 musim. Sedangkan di Indonesia rumah kaca jarang digunakan karena matahari akan bersinar sepanjang tahun. Suhu yang ada didalam rumah kaca biasanya akan terasa lebih hangat. Fungsi dari rumah kaca ini untuk menangkap cahaya matahari, karena panas dari sinar matahari tersebut terperangkap didalam bangunan. Jadi pada siang hari suhu didalam rumah kaca akan semakin hangat, dan sebaliknya jika di malam hari suhu akan tetap hangat tidak terpengaruh oleh cuaca diluar rumah. Efek rumah kaca ini sering dianggap penyebab lapisan ozon semakin membesar, sehingga bumi menjadi panas khususnya ketika musim panas tiba.

Efek rumah kaca adalah naiknya suhu bumi yang disebabkan oleh adanya perubahan komposisi yang terdapat pada atmosfer. Hal itu menyebabkan sinar matahari tetap berada di bumi, dan sayangnya tidak dipantulkan dengan sempurna untuk

keluar dari atmosfer tersebut. Maka sebuah fenomena alam terjadi karena adanya pantulan dari sinar matahari yang telah melewati atmosfer bumi. Hal ini juga disebabkan oleh zat yang ada di permukaan bumi, namun parahnya fenomena yang satu ini dapat menyebabkan kerusakan atmosfer. Sinar matahari yang dipantulkan ini dapat merusak lapisan ozon. Dengan fungsi utama yaitu untuk menghambat cahaya matahari yang ada di atmosfer. Jika lapisan ozon yang ada di atmosfer bumi berkurang maka suhu di bumi akan naik secara terus menerus. Kondisi tersebut akan menjadi bertambah buruk, karena karbondioksida yang ada di bumi yang dapat menahan pantulan sinar matahari sehingga suhu di bumi pun akan semakin meningkat. Untuk menghindari lapisan ozon yang rusak di lapisan atmosfer bumi, maka hal yang dapat dilakukan yaitu mengurangi pemakaian berbagai alat atau bahan yang dapat menghasilkan karbondioksida (CO_2). Hal itu juga dapat mengakibatkan kerusakan pada lapisan ozon lainnya. Maka dari itu perlu adanya sumber energi alternatif terbarukan untuk mengurangi kadar CO_2 yang dihasilkan oleh penggunaan *fossil fuel*. Salah satu energi alternatif yang ditawarkan adalah penggunaan energi angin untuk menciptakan energi lainnya.

Di Indonesia penggunaan energi angin sebagai energi alternatif belum maksimal dibandingkan dengan negara lain di benua Eropa. Indonesia memiliki kecepatan angin rata-rata sebesar 2 m/s sampai dengan 6 m/s, sehingga diperlukan suatu inovasi pemanfaatan energi angin menjadi energi listrik menggunakan turbin. Untuk wilayah dengan kecepatan angin yang tidak terlalu tinggi, turbin angin yang cocok adalah turbin Savonius.

Turbin Savonius pertama dikenalkan oleh **Sigurd J. Savonius** pada tahun 1922 yang berasal dari Finlandia. Turbin angin ini memiliki sumbu vertikal yang terdiri dari dua sumbu, dengan sisi cembung (*advancing blade*) dan cekung (*returning blade*) berbentuk setengah silinder yang dirangkai sehingga berbentuk seperti huruf "S". Konsep kerja turbin ini cukup sederhana dimana turbin ini akan menghasilkan daya dengan memanfaatkan gaya *drag*. Gaya *drag* ini dihasilkan oleh tiap-tiap

sudu yang diakibatkan oleh dorongan aliran pada kedua *blade*. Perbedaan arah cekungan antara *advancing blade* dan *returning blade* mengakibatkan adanya perbedaan nilai gaya *drag* yang dihasilkan dimana selisih dari kedua gaya *drag* tersebut akan menyebabkan torsi sehingga turbin Savonius dapat berputar. Semakin besar torsinya maka akan semakin besar pula daya yang dihasilkan. Namun kelemahan dari turbin Savonius ini yaitu memiliki efisiensi yang paling rendah dibanding turbin angin tipe lain. Oleh karena itu banyak penelitian terkait turbin Savonius ini dilakukan seperti penelitian mengenai peningkatan performa turbin Savonius dengan berbagai variasi, salah satu variasi yang digunakan adalah jumlah *blade* yaitu dengan menggunakan dua, tiga, dan empat *blades* oleh **N.H Mahmoud et al (2012)**. Pada penelitian ini didapatkan bahwa *coefficient of power* pada turbin dengan dua *blades* lebih tinggi daripada turbin dengan tiga dan empat *blades*. Selain itu torsi statis pada turbin Savonius dengan dua *blades* lebih tinggi daripada dengan menggunakan tiga dan empat *blades* pada *aspect ratio* 0,5 dan 5. Serta turbin dengan dua *blades* mempunyai performa yang lebih baik daripada tiga maupun empat *blades* untuk semua *aspect ratio* dan pada *single* maupun *double stage*. Sehingga dari berbagai percobaan yang dilakukan oleh peneliti didapatkan bahwa turbin Savonius dengan dua *blades* lebih baik daripada tiga maupun empat *blades*.

Penelitian yang sudah dilakukan oleh **Tsutsui dan Igarashi (2002)** mengenai aliran fluida pada sebuah silinder yang diberi pengganggu berupa silinder lain. Penelitian ini memvariasikan jarak antara kedua pusat silinder (L/D), diameter silinder pengganggu (d/D), dan harga bilangan Reynolds (Re) pada rentang $1,5 \times 10^4 \leq Re \leq 6,2 \times 10^4$. Pada penelitian ini didapatkan bahwa dengan penambahan silinder pengganggu dengan variasi bilangan Reynolds (Re) serta variasi diameter yang semakin meningkat maka lebar *wake* dibelakang silinder sirkular utama semakin menyempit.

Penelitian yang dilakukan mengenai penempatan silinder pengganggu didepan silinder sirkular utama terhadap pengurangan

drag yang dilakukan oleh **Lee et al (2004)**. Penelitian ini menggunakan variasi berupa diameter silinder pengganggu $0,133 \leq d/D \leq 0,267$ serta variasi jarak peletakkan silinder pengganggu $1,5 \leq L/D \leq 4,0$. Hasil yang didapatkan yaitu visualisasi aliran pada bagian diantara silinder pengganggu dengan silinder utama serta pada bagian belakang silinder utama. Selain itu, pengurangan koefisien *drag* maksimum dari silinder utama yaitu sebesar 29% pada diameter silinder pengganggu $d/D = 0,233$ dengan jarak $L/D = 2,081$. Untuk pengurangan koefisien *drag* maksimum secara keseluruhan, termasuk silinder pengganggu dan silinder utama yaitu sebesar 25% dengan $L/D = 1,833$ pada ukuran $d/D = 0,233$

Penelitian lain yang mendukung dilakukan oleh **Zulfan et al (2018)** yaitu studi eksperimen pengaruh silinder pengganggu $d/D = 0,5$ didepan *returning blade* pada posisi $S/D = 1,2$ dengan variasi $y/D = 0; 0,25$ dan $0,5$ pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$, $14,5 \times 10^4$ dan $17,8 \times 10^4$. Memiliki geometri diameter sudu turbin (D) = 165,2 mm, tinggi (H) = 294,4 mm, dengan diameter poros (b) = 19 mm, diameter end plate (D_0) = 321 mm, tebal end plate = 1,6 mm dan berat = 1,6 kg. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini yaitu dengan penambahan silinder pengganggu didepan *returning blade* pada posisi $S/D = 1,2$ dan $d/D = 0,2$ dapat meningkatkan performa nilai putaran poros, nilai torsi statis, *coefficient of power* (CoP) dan *coefficient of moment* (CM) dibandingkan dengan tanpa pengganggu. Penempatan Silinder pengganggu pada posisi $s/D = 1,2$ dan $y/D = 0,5$ dapat meningkatkan nilai CoP secara efektif pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$, $14,5 \times 10^4$ dan $17,8 \times 10^4$.

Dari penelitian-penelitian yang sudah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa masih terdapat cara untuk meningkatkan efisiensi turbin Savonius. Pada penelitian ini akan dilakukan studi eksperimen untuk meningkatkan efisiensi turbin Savonius dengan meletakkan silinder pengganggu didepan *returning blade* serta menggunakan variasi rasio diameter silinder pengganggu dengan diameter turbin Savonius (d/D) yang akan dilakukan pada aliran eksternal.

1.2. Rumusan Masalah

Turbin Savonius adalah turbin angin tipe sumbu vertikal yang memiliki bentuk dasar sudu setengah silinder. Pada penelitian kali ini digunakan turbin dengan dua jenis *blade*, yaitu *advancing blade* dan *returning blade*. Prinsip kerja dari turbin Savonius yaitu dengan memanfaatkan angin yang mengarah ke *blade* guna menimbulkan gaya *drag* yang dapat menggerakkan *blades* turbin Savonius. Apabila selisih *drag* antara kedua sudu semakin besar maka akan menghasilkan torsi yang besar pula, sehingga daya yang dihasilkan juga semakin besar. Semakin besar daya yang dihasilkan maka akan memperoleh *coefficient of power* (CoP) yang besar pula. Dalam hal ini maka akan diletakkan silinder pengganggu di depan *returning blade* berbentuk silinder sirkular dengan menggunakan variasi diameter silinder pengganggu terhadap diameter turbin Savonius (d/D). Hipotesa awal dari penelitian ini yaitu:

1. Adanya silinder pengganggu didepan *returning blade* diduga dapat mengakibatkan tekanan di bagian depan *returning blade* menurun dan tekanan di bagian belakang *returning blade* naik. Hal ini dapat menurunkan selisih tekanan didepan dan dibelakang *returning blade*. Akibatnya gaya *drag* pada *returning blade* menurun dan akan memperbesar selisih torsi sehingga dapat meningkatkan daya.

2. *Shear layer* yang terlepas dari silinder pengganggu akan *re-attach* pada permukaan *returning blade* dan mengganggu *boundary layer* pada permukaan *returning blade*, sehingga mempercepat perubahan *boundary layer* menjadi turbulen. Akibatnya titik separasi pada permukaan *returning blade* terjadi lebih lambat dan berakibat pada daerah *wake* yang terbentuk semakin sempit sehingga, menyebabkan gaya *drag* pada *returning blade* menurun. Hal ini mengakibatkan nilai torsi positif yang tinggi sehingga daya yang dihasilkan juga meningkat.

3. Ukuran diameter silinder pengganggu yang diletakkan didepan *returning blade* mempunyai variasi rasio (d/D) sebesar 0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9; dan 1.0. Jika rasio (d/D)

terlalu kecil diperkirakan akan kurang efektif dalam menurunkan tekanan di depan *returning blade* juga dalam menunda titik separasi. Sedangkan apabila rasio (d/D) terlalu besar diperkirakan variasi tersebut dapat menyebabkan defleksi aliran dari silinder pengganggu yang akan menghalangi *free stream* yang menuju *advancing blade*, hal ini dapat menurunkan nilai torsi serta daya. Maka variasi pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh diameter silinder pengganggu sehingga didapatkan diameter yang optimal, guna meningkatkan performa dari turbin Savonius.

1.3. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan pada penelitian kali ini sebagai berikut:

1. Analisa aliran *external flow*.
2. Perpindahan panas akibat gesekan udara dengan komponen alat diabaikan.
3. Analisa dilakukan pada turbin angin tipe Savonius dengan diameter (D) = 167,1 mm dan meletakkan silinder pengganggu pada jarak terhadap sudu *returning blade* (S/D) sebesar 2,8.
4. Aliran yang mengalir adalah *steady flow*, *incompressible flow* dan *uniform flow*.
5. Variasi diameter turbin Savonius dengan diameter silinder pengganggu sebesar (d/D) 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1.0.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan utama dari dilaksanakannya penelitian ini adalah meningkatkan performa turbin Savonius dengan meletakkan silinder pengganggu dengan jarak silinder pengganggu terhadap sudu *returning blade* (S/D) sebesar 2,8 dan variasi diameter turbin Savonius dengan diameter silinder pengganggu sebesar (d/D) 0,1; 0,2 ; 0,3 ; 0,4 ; 0,5 ; 0,6 ; 0,7 ; 0,8 ; 0,9 ; 1.0 dengan cara melakukan pengukuran torsi statis, torsi dinamis dan putaran yang dihasilkan oleh turbin.

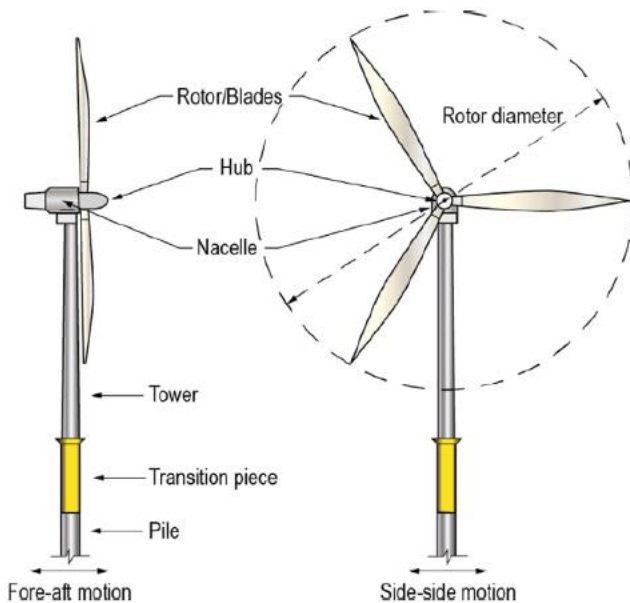
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Turbin Angin

Turbin angin merupakan solusi bagi energi terbarukan yang banyak dikembangkan karena hanya memerlukan energi angin sebagai penggerak. Turbin angin terdahulu banyak dibangun di Denmark, Belanda dan negara Eropa lainnya. Pada awalnya turbin angin ditujukan untuk mengakomodasi kebutuhan para petani untuk menggiling padi serta keperluan irigasi. Dengan daya yang tidak cukup besar tetapi turbin ini merupakan solusi yang mudah untuk memenuhi kebutuhan listrik dengan cakupan yang kecil. Kini turbin angin masih dalam tahap pengembangan oleh para ilmuwan meskipun sampai saat ini masih belum bisa menyaingi pembangkit listrik konvensional seperti PLTD, PLTU dan lainnya karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan kurangnya sumber daya alam tak terbarui sebagai bahan dasar untuk membangkitkan listrik.

Prinsip dasar kerja dari turbin angin adalah dengan mengubah energi mekanis dari angin menjadi energi putar di kincir, kemudian putaran kincir tersebut digunakan untuk menggerakkan generator yang akan menghasilkan listrik. Saat ini terdapat dua desain turbin angin secara umum yaitu, *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) dan *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT).



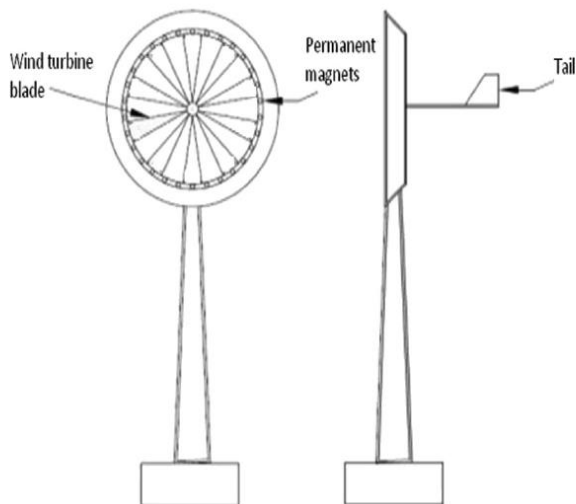
Gambar 2. 1 Ilustrasi Turbin Angin (Kaynia, 2018)

2.1.1. Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)

Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) atau turbin sumbu horizontal ini memiliki poros rotor utama dan generator listrik pada puncak menara. Turbin berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angin yang sederhana, sedangkan yang berukuran besar biasanya menggunakan sensor angin yang disambung ke sebuah servo motor. Sebagian besar memiliki sebuah *gearbox* guna mengubah perputaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat.

Pada turbin ini, putaran dapat terjadi dikarenakan adanya gaya angkat pada *blade* yang ditimbulkan oleh aliran angin. Turbin ini cocok digunakan dengan angin berkecepatan sedang dan tinggi, serta banyak digunakan sebagai pembangkit listrik skala besar. Secara umum semakin banyak jumlah *blade* akan mengakibatkan semakin tinggi putaran turbin. Turbin ini mempunyai kelebihan yaitu memiliki efisiensi yang tinggi dikarenakan semakin tinggi

menara turbin maka, daya yang dihasilkan akan semakin besar disebabkan oleh kecepatan angin yang semakin besar. Efisiensi turbin angin tipe ini juga terbilang besar dikarenakan sudunya yang selalu bergerak tegak lurus terhadap arah angin. Sedangkan kekurangan dari turbin jenis ini yaitu semakin tinggi menara dan semakin panjang sudu, maka akan semakin besar biaya instalasi. Kekurangan lainnya yang ditemukan adalah dibutuhkan sistem pengeraman untuk mencegah putaran *blade* yang terlalu kencang akibat angin dengan kecepatan tinggi.



Gambar 2. 2 Ilustrasi Turbin Angin Horizontal (Sivamani et al., 2019)

2.1.2. Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)

Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) ini akan berputar pada sumbu vertikal dikarenakan poros rotornya berada pada letak yang serupa (omni-directional), artinya turbin ini tidak perlu menghadap ke arah arah angin untuk berputar. Turbin angin sumbu *vertical* ini tidak memerlukan kecepatan angin yang tinggi dan teratur untuk beroperasi seperti pada sumbu *horizontal*, sehingga turbin angin jenis ini dapat diletakkan pada ketinggian yang lebih

rendah. Kelebihan yang dimiliki oleh turbin jenis ini yaitu memiliki torsi tinggi sehingga dapat berputar pada kecepatan angin yang rendah, generator dapat ditempatkan di bagian bawah turbin sehingga mempermudah proses perbaikan dan pergantian *part* serta dapat menerima angin dari segala arah. Sedangkan kekurangannya yaitu, kecepatan angin di bagian bawah sangat rendah sehingga memiliki efisiensi yang lebih rendah apabila dibandingkan dengan *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT). Penggunaan turbin angin tipe ini juga dinilai kurang familiar sehingga pengembangannya termasuk kedalam golongan yang lambat. Ada beberapa tipe sudu pada turbin angin jenis ini, yaitu Savonius dan Darrieus. Turbin Savonius memanfaatkan gaya hambat sedangkan turbin Darrieus memanfaatkan gaya angkat.

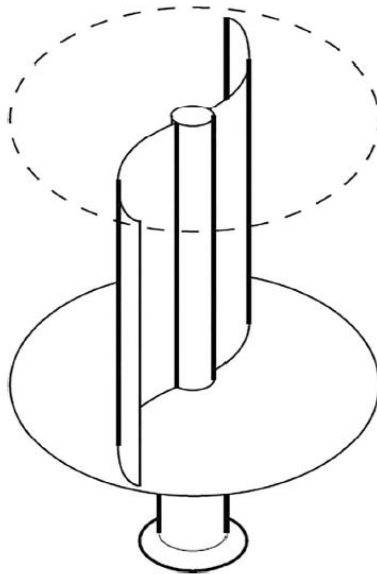


Gambar 2. 3 Ilustrasi Turbin Angin Darrieus (Darrieus, Darrieus, & Laboratories, 2015)

2.2. Turbin Angin Savonius

Turbin Savonius adalah salah satu turbin angin yang paling sederhana serta memiliki sumbu *axis* vertikal yang mampu mengubah energi angin *horizontal* menjadi energi kinetik rotasi. Energi kinetik rotasi yang dihasilkan tersebut kemudian digunakan

untuk memutar rotor dan menghasilkan listrik. Terdapat dua jenis *blade* pada turbin Savonius yaitu, *advancing blade* dan *returning blade*. Turbin Savonius dapat berputar dikarenakan adanya perbedaan besar nilai gaya *drag* pada *advancing blade* dan *returning blade*. Hal ini dikarenakan nilai *coefficient drag* (C_D) pada *advancing blade* lebih besar daripada *coefficient drag* (C_D) pada *returning blade*.



Gambar 2. 4 Ilustrasi Turbin Savonius (Saeed, Elmekawy, & Kassab, 2019)

Turbin Savonius terdiri dari dua baling berbentuk setengah silinder yang saling berlawanan arah tergabung di satu poros. Jika dilihat tampak atas bentuk baling-balingnya akan terlihat seperti huruf "S" pada penampang melintang. Turbin Savonius pertama kali dikembangkan oleh Engineer asal Finlandia yaitu **Singuard Savonius** pada tahun 1920, dimana plat silinder dibelah menjadi dua yang bagian tengahnya disatukan sehingga membentuk huruf

“S”. Turbin Savonius ini memiliki kelebihan yaitu hanya membutuhkan kecepatan angin yang tidak terlalu tinggi, turbin ini tepat untuk memanfaatkan energi angin dikarenakan tidak membutuhkan torsi awal yang besar serta dapat menerima angin dari segala arah. Selain itu desain turbin ini sederhana dan lebih murah. Namun kelemahan dari turbin Savonius ini yaitu memiliki efisiensi yang paling rendah dibanding turbin angin tipe lain.

2.3. Gaya Drag

Setiap benda yang bergerak melalui sebuah fluida, akan mengalami suatu interaksi lewat tekanan dan tegangan geser. Gaya resultan dalam arah yang sama dengan kecepatan hulu disebut sebagai gaya *drag* (gaya hambat), sedangkan gaya resultan yang tegak lurus terhadap arah kecepatan hulu disebut sebagai gaya *lift* (gaya angkat). Gaya hambat seringkali ditunjukkan dengan koefisien *drag* (C_D) yaitu suatu bilangan tak berdimensi yang digunakan untuk mengetahui gaya *drag*. Secara umum, gaya *drag* (F_D) dapat dituliskan seperti persamaan berikut:

$$F_D = C_D \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A \dots \dots \dots 2.1$$

dimana,

C_D : koefisien *drag*

F_D : gaya *drag* (N)

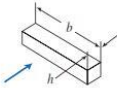






ρ : massa jenis fluida (kg/m^3)

V : kecepatan fluida (m/s)

A : luas permukaan turbin yang ditabrak oleh angin (m^2)

Koefisien *drag* (C_D) memiliki nilai yang berbeda-beda, bergantung dari geometri yang dimiliki oleh benda tersebut. Nilai koefisien *drag* dari masing-masing geometri dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. 1 Data Nilai *Coefficient Drag* (C_D) untuk Beberapa Benda Pada $Re > 10^3$ (J.Prichard & C.Leylegian, 2011)

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

^aData from Hoerner [16].

^bBased on ring area.

Berbagai faktor menyebabkan suatu benda memiliki nilai gaya *drag* yang berbeda seperti dimensi, hingga profil dari suatu benda. Pada penelitian ini, sudu turbin yang digunakan memiliki dua bentuk profil yang berbeda yaitu *advancing blade* dan *returning blade*.

2.4. Bilangan Reynolds (Re)

Bilangan Reynolds (Re) merupakan bilangan tak berdimensi yang ditemukan oleh **Osborne Reynolds** pada tahun 1880. Dalam mekanika fluida, bilangan Reynolds adalah rasio antara gaya inersia (vsp) terhadap gaya viskos (μ/L) yang menguantifikasikan hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu. Re digunakan untuk mengklasifikasikan suatu aliran menjadi aliran laminar, turbulen, atau transisi. Re dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Re = \frac{\text{Gaya Inersia}}{\text{Gaya Viscous}}$$

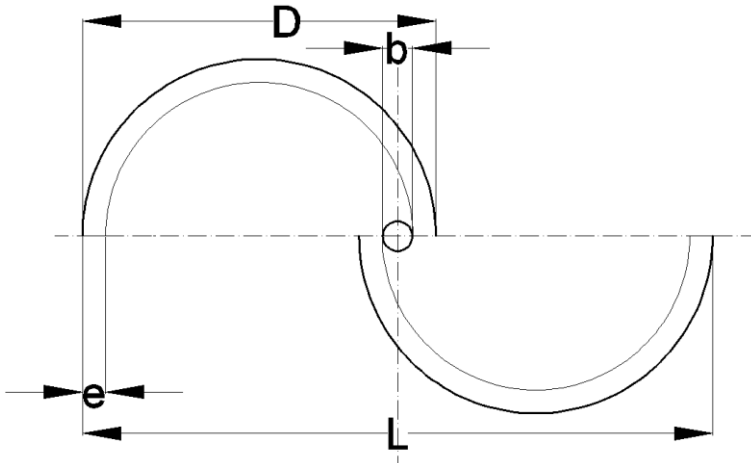
dimana,

$$\text{Gaya Inersia} = p \times A = \rho \cdot U_{\infty}^2 \cdot L^2 \dots\dots\dots 2.2$$

$$\text{Gaya Viscous} = \mu \cdot \frac{U_{\infty}}{L} \cdot L^2 \dots\dots\dots 2.3$$

sehingga,

$$Re = \frac{\rho \cdot U_{\infty}^2 \cdot L^2}{\mu \cdot \frac{U_{\infty}}{L} \cdot L^2} = \frac{\rho \cdot U_{\infty} \cdot L}{\mu} \dots\dots\dots 2.4$$



Gambar 2. 5 Ilustrasi Turbin Savonius

Dalam penelitian tentang turbin Savonius ini, panjang karakteristik (L) didefinisikan menjadi:

$$L = 2D - b - 2e$$

sehingga,

$$Re = \frac{\rho \cdot U_{\infty} \cdot (2D - b - 2e)}{\mu} \dots\dots\dots 2.5$$

dimana,

ρ : massa jenis fluida (kg/m^3)

U_{∞} : kecepatan aliran free stream fluida (m/s)

- μ : viskositas dinamik fluida (N.s/m²)
 L : panjang karakteristik turbin (m)
 D : diameter sudu turbin Savonius (m)
 b : diameter poros (m)
 e : tebal *blade* (m)

2.5. Coefficient of Power (CoP)

Coefficient of Power (CoP) adalah perhitungan yang menentukan besarnya performa turbin angin. *Coefficient of Power* dipengaruhi oleh dua faktor utama yaitu daya mekanik dari turbin karena terkena angin dan daya kinetik dari angin itu sendiri. Nilai *Coefficient of Power* berbanding lurus dengan performa turbin. Besarnya *Coefficient of Power* dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\text{CoP} = \frac{P_r}{P_w} \dots\dots\dots 2.6$$

dimana,

CoP : *coefficient of Power*

Pr : daya mekanik turbin aktual (Watt)

Pw : daya teoritis yang dihasilkan akibat kecepatan angin keluaran *axial fan* (Watt)

Dikarenakan nilai CoP kurang dari 1, maka besar daya angin dengan adanya *Coefficient of Power* akan menjadi:

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^2 \dots\dots\dots 2.7$$

Besarnya daya aktual yang dihasilkan turbin dapat dihitung dengan persamaan:

$$P_r = \zeta \cdot \omega \dots\dots\dots 2.8$$

dimana,

ζ : torsi yang dihasilkan turbin yang diukur dengan menggunakan *brake dynamometer* (N.cm)

ω : putaran yang dihasilkan oleh turbin yang diukur dengan menggunakan *tachometer* (rpm)

Sehingga persamaan *coefficient of power* dapat ditulis sebagai berikut:

$$CoP = \frac{\zeta \cdot \omega}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^2} = \frac{\zeta \cdot \omega}{\frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot A \cdot U^3} \dots\dots\dots 2.9$$

2.6. Tip Speed Ratio (TSR)

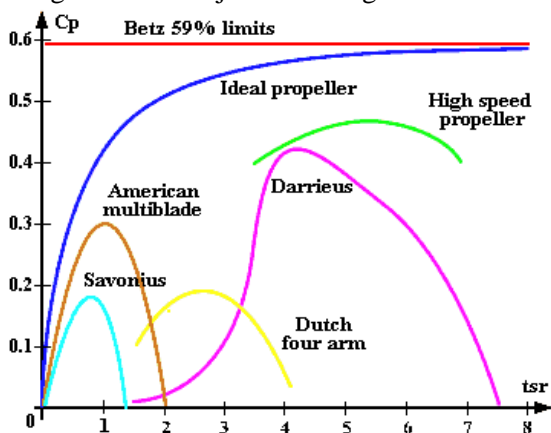
Tip Speed Ratio (TSR) merupakan perbandingan antara kecepatan putar turbin terhadap kecepatan angin. TSR ini dilambangkan dengan λ dan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{V} \dots\dots\dots 2.10$$

dimana:

- λ : tip speed ratio
- ω : kecepatan angular turbin Savonius (rad/s)
- R : jari-jari turbin Savonius (m)
- V : kecepatan angin (m/s)

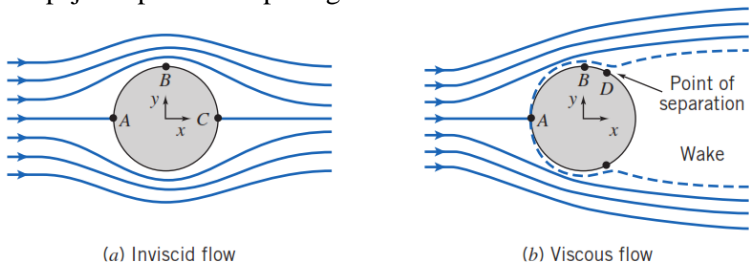
Karena setiap tipe turbin angin memiliki karakteristik yang berbeda, maka faktor daya sebagai fungsi dari TSR juga berbeda sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 2.6 berikut:



Gambar 2. 6 Grafik Hubungan antara *Coefficient Of Power* dengan *Tip Speed Ratio* untuk Berbagai Jenis Turbin Angin (Al-Shemmeri, 2010)

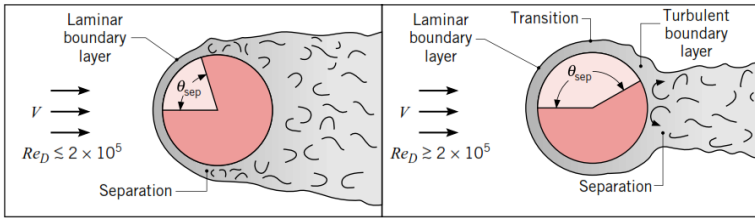
2.7. Aliran Melintasi Sebuah Silinder

Kekentalan (viskositas) suatu fluida adalah sifat yang menentukan besar daya tahannya terhadap gaya geser atau ukuran penolakan sebuah fluida terhadap perubahan bentuk di bawah tekanan *shear*. Aliran fluida jika dilihat dari pengaruh viskositasnya dapat dibedakan menjadi dua, yaitu aliran *viscous* dan aliran *inviscid*. Aliran *viscous* adalah aliran dimana viskositas fluida sangat berpengaruh sehingga menghasilkan tegangan geser aliran pada dinding ($\tau_{yx} \neq 0$). Aliran *inviscid* adalah aliran dimana viskositas fluida dianggap nol, sehingga tegangan geser dianggap tidak berpengaruh ($\tau_{yx} = 0$). Aliran *viscous* dan aliran *inviscid* pada bola pejal dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Aliran *Viscous* dan Aliran *Inviscid* pada Bola Pejal (J.Prichard & C.Leylegian, 2011)

Pada gambar 2.7.b menunjukkan aliran *viscous* pada suatu silinder. Titik A adalah titik stagnasi dimana aliran fluida menyentuh silinder sehingga kecepatan diperlambat hingga nol dan memiliki nilai tekanan yang tinggi. Kemudian terjadi *boundary layer* di titik A. Dari titik A ke titik B terjadi peningkatan kecepatan dan penurunan tekanan. Dari titik B ke titik D terjadi penurunan kecepatan dan peningkatan tekanan. Pada titik D momentum aliran tidak mampu melawan tegangan geser dan *adverse pressure gradient* (APG) sehingga *boundary layer* terpecah. Titik D disebut titik separasi. Sedangkan daerah diantara titik-titik pemisahan *boundary layer* disebut daerah *wake*.



Gambar 2. 8 Pengaruh Aliran Turbulensi terhadap Titik Separasi (Incropera, 2007)

Peristiwa separasi ditunjukkan pada gambar 2.8 yang mana munculnya daerah *wake* pada bagian belakang silinder. Daerah *wake* adalah daerah yang memiliki tekanan rendah akibat perbedaan tekanan antara *boundary layer* bagian atas dan bawah yang terpisah. Setiap aliran memiliki titik separasi yang berbeda, tergantung besarnya bilangan Reynolds. Aliran turbulen memiliki titik separasi yang lebih jauh (tertunda), hal ini disebabkan oleh momentum yang dimiliki aliran lebih mampu untuk melawan tegangan geser dan *adverse pressure gradient* sehingga menunda terjadinya separasi. Besar daerah *wake* berbanding lurus dengan gaya *drag* yang dihasilkan pada daerah tersebut. Jika $Re_D \leq 2 \times 10^5$, lapisan batas tetap laminar dan separasi terjadi pada $\theta \approx 80^\circ$, tetapi jika $Re_D \geq 2 \times 10^5$, lapisan transisi dan separasi tertunda sampai $\theta \approx 140^\circ$.

2.8. Perhitungan Torsi Statis

Torsi merupakan nilai kuantitatif dari sebuah gaya yang menyebabkan gerak rotasi suatu benda. Pada turbin, besar torsi bergantung pada gaya *drag* dan sudu turbin yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$T_s = F_D \cdot R \dots\dots\dots 2.11$$

Berdasarkan persamaan 2.1 dan 2.11 maka torsi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$T_s = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A \cdot R \dots\dots\dots 2.12$$

dimana,

T_s : torsi yang dihasilkan dari putaran poros (N.m)

R : jari-jari turbin (m)

2.9. Perhitungan Torsi Dinamis

Torsi dinamis dari turbin Savonius dapat diperoleh dengan persamaan:

$$T_D = F \cdot r \dots\dots\dots 2.13$$

dengan,

$$F = |s - m| \cdot g \dots\dots\dots 2.14$$

dimana:

s : massa yang terbaca pada neraca pegas (kg)

m : massa pemberat (kg)

g : gaya gravitasi (m/s^2)

2.10. Perhitungan Daya Turbin Teoritis

Putaran poros turbin adalah reaksi dari aliran angin dengan kecepatan sebesar V yang menabrak turbin. Besarnya energi kinetik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2 \dots\dots\dots 2.15$$

Besarnya laju energi angin dapat dikonversikan menjadi energi mekanik oleh turbin angin secara teoritis yang dipengaruhi oleh energi kinetik dari angin dan laju aliran massa. Persamaan daya dapat dituliskan sebagai:

$$P_w = \frac{E_k}{t} = \frac{1}{2} \cdot \dot{m} \cdot V^2 \dots\dots\dots 2.16$$

dimana *mass flow rate* (\dot{m}) sebagai berikut:

$$\dot{m} = \rho \cdot Q = \rho \cdot V \cdot A \dots\dots\dots 2.17$$

Pada penelitian ini luas penampang aliran merupakan luas permukaan turbin yang tegak lurus dengan arah fluida yaitu:

$$A = 2D \cdot H \dots\dots\dots 2.18$$

sehingga daya kinetik yang dihasilkan oleh angin adalah

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot 2D \cdot H \cdot V^3 \dots\dots\dots 2.19$$

dimana:

- P_w : daya kinetik angin (Watt)
 E_k : energi kinetik (Joule)
 ρ : massa jenis fluida (kg/m^3)
 A : luas penampang (m^2)
 V : kecepatan aliran fluida (m/s)
 D : diameter sudu turbin Savonius (m)
 H : tinggi turbin Savonius (m)

2.11. Perhitungan Daya Turbin Aktual

Pada perhitungan daya aktual turbin akan diukur dengan menggunakan *brake dynamometer*, dimana akan mengukur besarnya torsi dinamis yang dihasilkan oleh aliran fluida pada turbin Savonius. Perhitungan daya aktual turbin dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_T = T_D \cdot \omega \dots\dots\dots 2.20$$

dengan,

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60} \dots\dots\dots 2.21$$

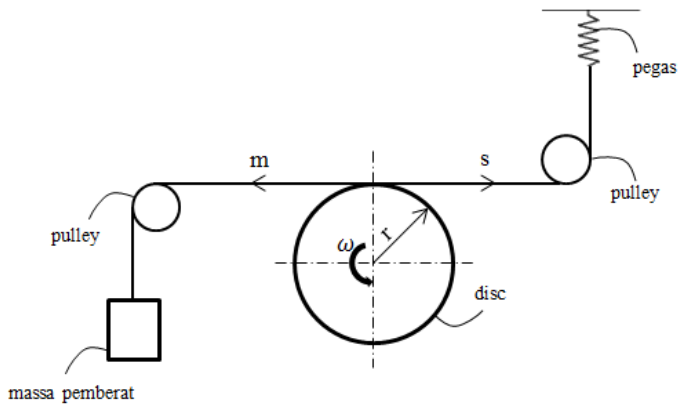
sehingga,

$$P_T = \frac{T_D \cdot 2\pi \cdot n}{60} \dots\dots\dots 2.22$$

dimana:

- P_T : daya aktual turbin (Watt)
 T_D : torsi dinamis turbin (N.m)
 ω : kecepatan sudut turbin Savonius (rad/s)
 n : jumlah putaran poros turbin Savonius (rpm)

Brake dynamometer tidak dapat menyajikan nilai torsi dinamis secara langsung. Pengukuran yang dilakukan pada *brake dynamometer* adalah pengukuran massa pemberat (m) dan massa yang terbaca pada neraca pegas (s). Kemudian nilai torsi dinamis harus dihitung berdasarkan *Free Body Diagram* (FBD) seperti pada gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Free Body Diagram Brake Dynamometer

Dengan menggunakan persamaan torsi dinamis, didapatkan persamaan daya aktual turbin (P_T) sebagai berikut:

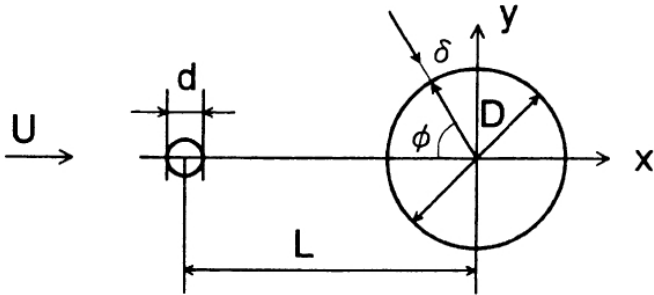
$$P_T = |s - m| \cdot g \cdot r \cdot \omega \dots\dots\dots 2.23$$

2.12. Penelitian Terdahulu

Untuk mempermudah dalam penelitian kali ini serta dapat memperoleh hasil yang *valid* maka dibutuhkan referensi dari penelitian-penelitian terdahulu yang berkaitan. Penelitian yang dicantumkan adalah sebagai berikut:

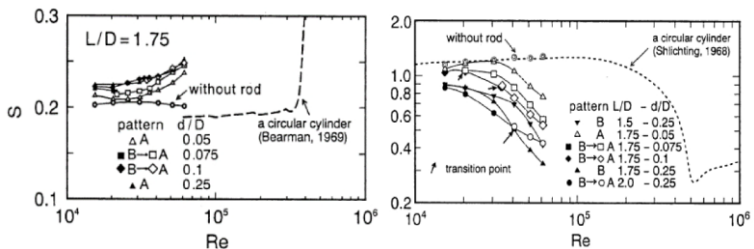
2.12.1 Penelitian Silinder dengan Pengganggu

Penelitian tentang aliran fluida pada sebuah silinder yang diberi pengganggu berupa silinder lain pernah dilakukan oleh **Tsutsui dan Igarashi (2002)**. Penelitian tersebut memvariasikan jarak antara kedua pusat silinder (L/D), diameter silinder pengganggu (d/D), dan harga bilangan Reynolds pada rentang $1,5 \times 10^4 \leq Re \leq 6,2 \times 10^4$.

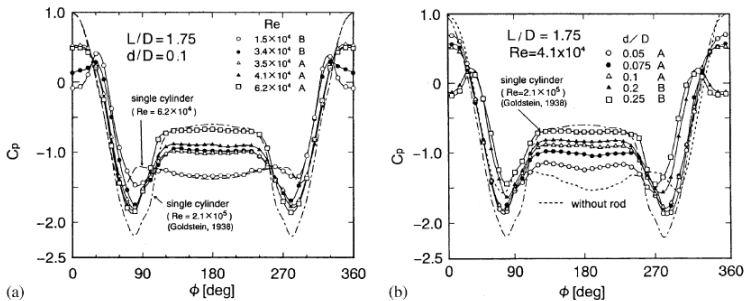


Gambar 2. 10 Geometri Benda Uji (Tsutsui & Igarashi, 2002)

Geometri benda uji tersebut mempunyai diameter silinder utama sebesar 40 mm dengan perubahan diameter silinder pengganggu dari 1 mm sampai dengan 10 mm, sedangkan jarak antar kedua pusat silinder divariasikan dari rentang 50 mm sampai dengan 120 mm. Dari hasil penelitian tersebut didapatkan bahwa penurunan harga koefisien *drag* (C_D) dan peningkatan bilangan Strouhal yang disebabkan oleh peningkatan bilangan Reynolds (Re) dan peningkatan d/D serta penurunan harga L/D . Dengan peningkatan bilangan Reynolds di atas 3×10^4 , maka titik separasi akan bergeser semakin cepat, tebal *shear layer* berkurang, sehingga bilangan Strouhal akan meningkat dan daerah *wake* menyempit (koefisien *drag* menurun). Gambar 2.11 merupakan grafik hubungan bilangan Strouhal dengan bilangan Reynolds yang dilakukan pada penelitian ini.



Gambar 2. 11 Grafik Bilangan Strouhal dan Koefisien *Drag* (Tsutsui & Igarashi, 2002)



Gambar 2. 12 Grafik Distribusi Tekanan pada Silinder Sirkular Utama (Tsutsui & Igarashi, 2002)

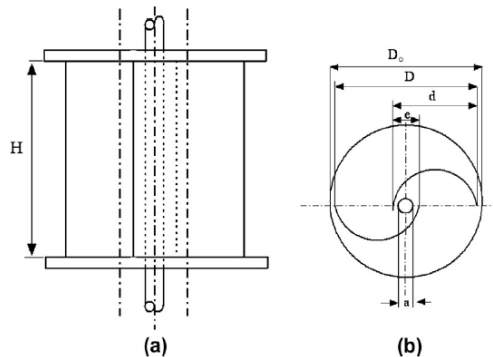
Untuk mengetahui pengaruh variasi bilangan Reynolds (Re), diameter silinder pengganggu (d/D), dan jarak pusat silinder pengganggu dengan silinder sirkular utama (L/D) terhadap koefisien *drag* (C_D) maka didapatkan grafik distribusi C_p seperti gambar 2.12 diatas. Pada gambar 2.12 (a) percobaan dilakukan dengan variasi bilangan Reynolds yang dilakukan pada $L/D = 1,75$ dan $d/D = 0,1$ dengan dua pola aliran yaitu pola aliran A dengan adanya *vortex shedding* dibelakang silinder pengganggu dan pola aliran B yaitu tanpa *vortex shedding* dibelakang silinder pengganggu. Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa dengan penambahan silinder pengganggu maka C_p pada bagian depan silinder sirkular utama mengalami penurunan. Untuk pola aliran (A) C_p menurun menjadi 0,5 dan pola aliran (B) C_p menjadi negatif pada bagian depan silinder sirkular utama. Dari grafik 2.12 (a) dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan silinder pengganggu dengan variasi bilangan Reynolds yang semakin meningkat maka lebar *wake* dibelakang silinder sirkular utama semakin menyempit.

Sedangkan pada gambar 2.12 (b) percobaan dilakukan dengan variasi diameter silinder sirkular utama yang dilakukan pada $L/D = 1,75$ dan $Re = 4,1 \times 10^4$. Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa dengan memvariasikan diameter silinder pengganggu yang semakin meningkat maka C_p pada bagian depan

silinder sirkular utama mengalami penurunan. Dari grafik 2.12 (b) dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan silinder pengganggu dengan variasi diameter yang semakin meningkat maka lebar *wake* dibelakang silinder sirkular utama semakin menyempit.

2.12.2 Studi Eksperimen Peningkatan Performa Turbin Angin Savonius

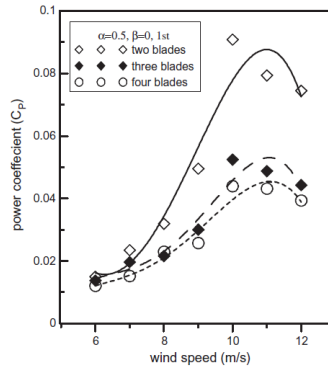
Pada penelitian N.H. Mahmoud et al (2012) dilakukan percobaan untuk meningkatkan performa turbin Savonius dengan skema geometri seperti di gambar 2.13 dan menggunakan beberapa variasi. Variasi pertama adalah jumlah *blades* yaitu dengan menggunakan dua *blades*, tiga *blades*, dan empat *blades*. Variasi kedua adalah variasi jumlah *stage* turbin yaitu *single stage* dan *double stages*. Variasi ketiga adalah variasi *overlap ratio* (β) sebesar 0; 0,2; 0,25; 0,3; dan 0,35 dan *aspect ratio* (α) sebesar 0,5; 1; 2; 4; dan 5 dengan ada dan tidaknya *end plate*.



Gambar 2. 13 Skema Turbin Angin Savonius *Single Stage* (a) Tampak Samping dan (b) Tampak Atas (Mahmoud, 2012)

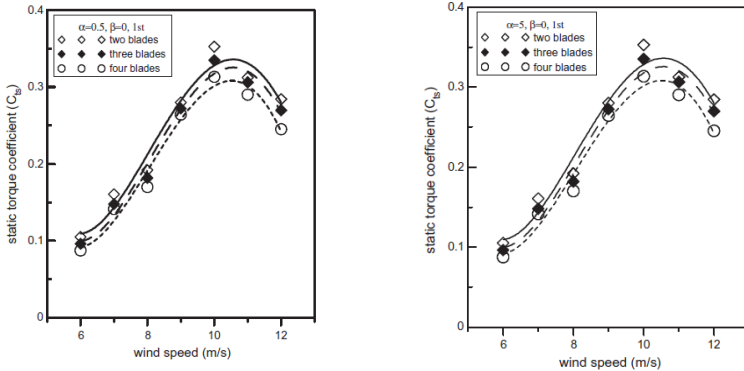
Pada penelitian ini, turbin Savonius mempunyai diameter poros 14 mm dan panjang 62 cm untuk semua variasi yang diletakkan di depan *exit wind tunnel* dengan jarak 125 cm. Peletakkan diperhatikan sehingga *vertical axis* dari turbin Savonius

harus berhadapan lurus dengan *center line* dari *wind tunnel*. *Blades* dari turbin Savonius dibuat dari pipa plastik ringan PVC dengan diameter yang berbeda yaitu 0,3; 0,2; 0,1; dan 0,008 m. *End plate* yang digunakan terbuat dari plat kayu ringan dengan tebal 2,5 mm. Berikut ini merupakan beberapa hasil dari penelitian yang didapat dari penelitian ini:



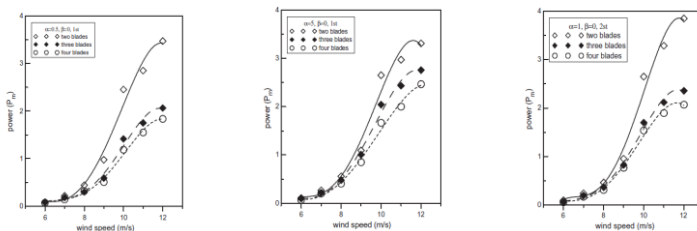
Gambar 2. 14 Hubungan antara *Coefficient Of Power* dan Kecepatan Angin pada Turbin Savonius dengan Dua, Tiga, dan Empat *Blades* (Mahmoud, 2012)

Pada penelitian ini didapatkan pengaruh jumlah *blades* terhadap peningkatan performa turbin angin Savonius pada *aspect ratio* sebesar 0,5 dan *overlap ratio* sebesar 0 dengan kondisi *single stage rotor*. Dapat dilihat pada gambar 2.14 bahwa *coefficient of power* pada turbin dengan dua *blades* lebih tinggi daripada turbin dengan tiga dan empat *blades*. Selain itu didapatkan *coefficient of power* tertinggi pada kecepatan angin 10 m/s pada setiap *blades*.



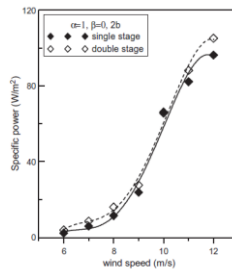
Gambar 2. 15 Hubungan antara Koefisien Torsi Statis dan Kecepatan Angin dengan Variasi *Blades* (a) *Aspect Ratio* = 0,5 dan (b) *Aspect Ratio* = 5 (Mahmoud, 2012)

Pada penelitian ini didapatkan pengaruh jumlah *blades* terhadap peningkatan performa turbin angin Savonius pada *aspect ratio* sebesar 0,5 dan 5, *overlap ratio* sebesar 0 dengan kondisi *single stage rotor*. Dapat dilihat dari gambar 2.15 diatas bahwa torsi statis pada turbin Savonius dengan *dua blades* lebih tinggi daripada torsi statis pada turbin Savonius dengan tiga dan empat *blades* pada *aspect ratio* 0,5 dan 5.



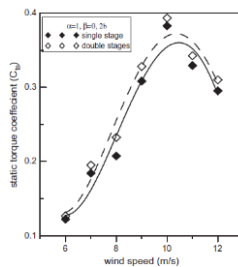
Gambar 2. 16 Hubungan antara *Mechanical Power* dan Kecepatan Angin dengan Variasi *Blades* (a) *Aspect Ratio* = 0,5; *Single Stage*, (b) *Aspect Ratio* = 5; *Single Stage*, dan (c) *Aspect Ratio* = 0,5; *Double Stages* (Mahmoud, 2012)

Pada penelitian ini didapatkan hubungan antara *mechanical power* dan kecepatan angin pada turbin Savonius dengan dua, tiga, dan empat *blades* terhadap peningkatan performa turbin Savonius. Pada gambar 2.16 dapat dilihat bahwa turbin dengan dua *blades* mempunyai performa lebih baik daripada tiga dan empat *blades* untuk semua *aspect ratio* dan pada *single stage* maupun *double stages*.



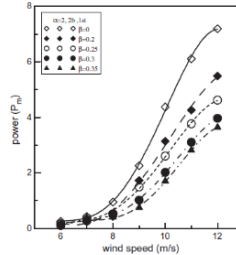
Gambar 2. 17 Hubungan antara *Specific Power* dan Kecepatan Angin pada Turbin Savonius *Single Stage* dan *Double Stages* (Mahmoud, 2012)

Pada penelitian ini didapatkan hubungan antara *specific power* dan kecepatan angin pada turbin Savonius *single stage* dan *double stages* terhadap peningkatan performa turbin Savonius. Pada gambar 2.17 didapatkan bahwa nilai *specific power* pada turbin Savonius *double stages* lebih besar daripada *specific power* pada turbin Savonius *single stage*.



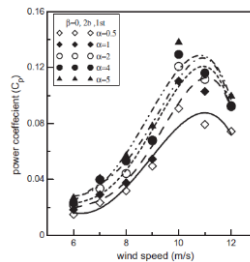
Gambar 2. 18 Hubungan antara Torsi Statis dan Kecepatan Angin pada Turbin Savonius *Single Stage* dan *Double Stages* (Mahmoud, 2012)

Pada penelitian ini didapatkan hubungan antara torsi statis dan kecepatan angin pada turbin Savonius *single stage* dan *double stages* terhadap peningkatan performa turbin Savonius. Pada gambar 2.18 didapatkan bahwa nilai torsi statis pada turbin Savonius *double stages* lebih besar daripada torsi statis pada turbin Savonius *single stage*.



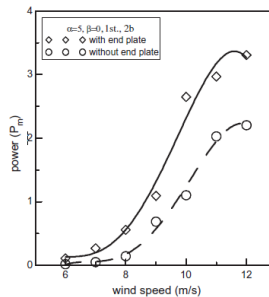
Gambar 2. 19 Hubungan antara *Mechanical Power* dan Kecepatan Angin pada Turbin Savonius dengan Variasi *Overlap Ratio* (Mahmoud, 2012)

Pada penelitian ini didapatkan hubungan antara *mechanical power* dan kecepatan angin pada turbin angin Savonius dengan variasi *overlap ratio* terhadap peningkatan performa turbin Savonius. Pada gambar 2.19 didapatkan bahwa nilai dari *mechanical power* akan menurun seiring meningkatnya *overlap ratio* pada turbin Savonius.



Gambar 2. 20 Hubungan antara *Coefficient Of Power* dan Kecepatan Angin pada Turbin Savonius dengan Variasi *Aspect Ratio* (Mahmoud, 2012)

Pada penelitian ini didapatkan hubungan antara *coefficient of power* dan kecepatan angin pada turbin angin Savonius dengan variasi *aspect ratio* terhadap peningkatan performa turbin Savonius. Dari gambar 2.20 didapatkan bahwa nilai dari *coefficient of power* akan meningkat seiring meningkatnya *aspect ratio* pada turbin Savonius.

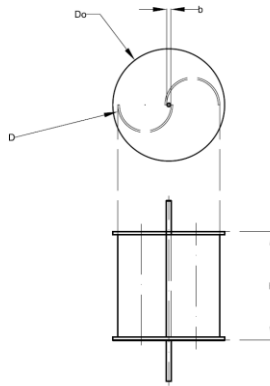


Gambar 2. 21 Hubungan antara *Mechanical Power* dan Kecepatan Angin pada Turbin Savonius dengan Adanya *End Plate* dan Tanpa *End Plate* (Mahmoud, 2012)

Pada penelitian ini didapatkan hubungan antara *mechanical power* dan kecepatan angin pada Turbin Savonius dengan adanya *end plate* dan tanpa *end plate* terhadap peningkatan performa turbin Savonius. Pada gambar 2.21 didapatkan bahwa turbin Savonius yang menggunakan *end plate* memiliki nilai *mechanical power* yang lebih tinggi daripada tanpa menggunakan *end plate*.

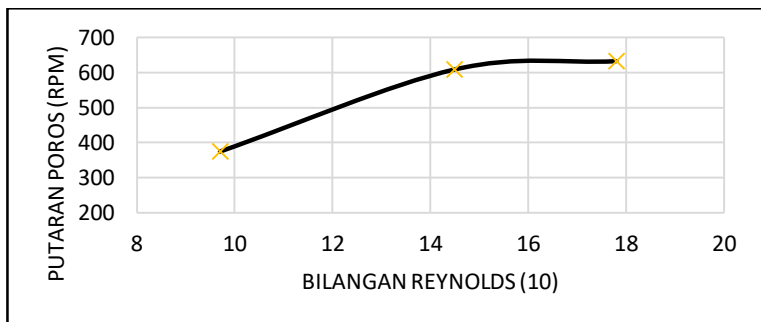
2.12.3 Studi Eksperimen Pengaruh Silinder Pengganggu Terhadap Performa Turbin Angin Savonius

Pada penelitian Zulhan et al 2018 dilakukan penambahan silinder pengganggu di depan *returning blade* pada turbin Savonius dengan diameter sudu turbin (D) = 165,2 mm, tinggi (H) = 294,4 mm, dengan diameter poros (b) = 19 mm, diameter *end plate* (D_0) = 321 mm, tebal *end plate* = 1,6 mm dan berat = 1,6 kg seperti pada gambar 2.22.



Gambar 2. 22 Skema Turbin Savonius (Zulhan & Yuwono, 2018)

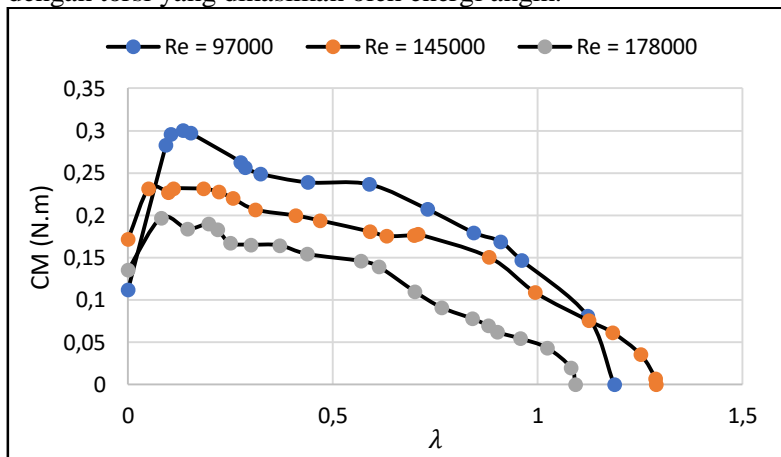
Penelitian ini dilakukan pada jarak S/D sebesar 1,2 dengan variasi bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$; $14,5 \times 10^4$ dan $17,8 \times 10^4$ serta y/D 0 ; 0,25 ; 0,5. Pengujian turbin Savonius tanpa penghalang diawali dengan pengukuran putaran poros. Data putaran poros didapatkan dengan menggunakan tachometer. Data yang didapatkan adalah putaran poros dalam bentuk RPM. Dari data putaran poros didapatkan seperti berikut:



Gambar 2. 23 Grafik Putaran Poros terhadap Bilangan Reynolds (Zulhan & Yuwono, 2018)

Dari gambar 2.23 *trendline* grafik naik seiring dengan naiknya bilangan Reynolds. Nilai tertinggi berada pada Bilangan Reynolds = $17,8 \times 10^4$ dengan nilai putaran poros 632,9 RPM. Sedangkan nilai terendah berada pada bilangan Reynolds = $9,7 \times 10^4$ dengan nilai 374,9 RPM. Hal ini dikarenakan semakin tinggi bilangan Reynolds, maka kecepatan angin akan semakin tinggi dan akan menyebabkan gaya drag yang tinggi. Ketika gaya drag tinggi maka putaran turbin akan semakin tinggi.

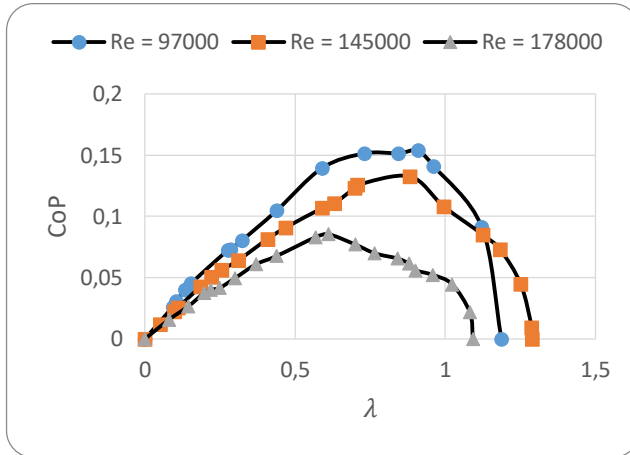
Dari pengukuran torsi dinamis dengan menggunakan *brake dynamometer*, dapat dianalisa untuk mendapatkan *Coefficient of Moment*. *Coefficient of Moment* (CM) adalah perbandingan antara torsi dinamis hasil dari turbin angin Savonius dengan torsi yang dihasilkan oleh energi angin.



Gambar 2. 24 Grafik *Coefficient of Moment* terhadap *Tip Speed Ratio* Tanpa Penghalang (Zulhan & Yuwono, 2018)

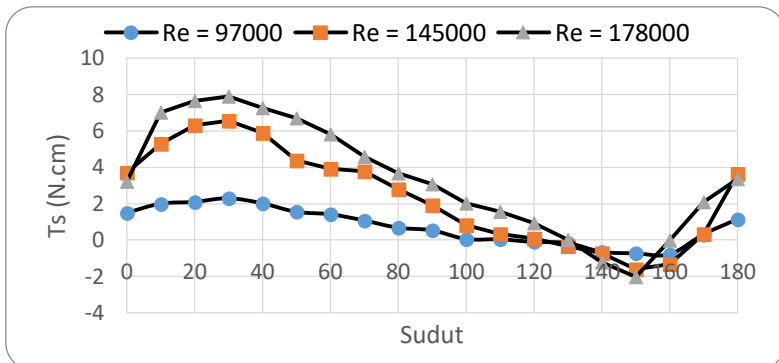
Dari Gambar 2.24 diatas dapat dilihat bahwa semakin tinggi TSR, maka nilai CM akan semakin rendah. Titik optimum berada pada bilangan Reynolds = $9,7 \times 10^4$. Nilai CM turun seiring dengan kenaikan bilangan Reynolds. Hal ini dikarenakan turbin angin efisien di bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$. Pada bilangan Reynolds tinggi, kecepatan angin tinggi yang menyebabkan turbin

angin Savonius berputar dengan sangat cepat. Tetapi jika turbin berputar semakin cepat, maka turbin angin seolah olah membentuk *solid wall*. Nilai CM tertinggi berada pada bilangan Reynolds = $9,7 \times 10^4$ hal ini membuktikan nilai CoP tertinggi pada kecepatan rendah.



Gambar 2. 25 Grafik *Coefficient of Power* terhadap *Tip Speed Ratio* (Zulhan & Yuwono, 2018)

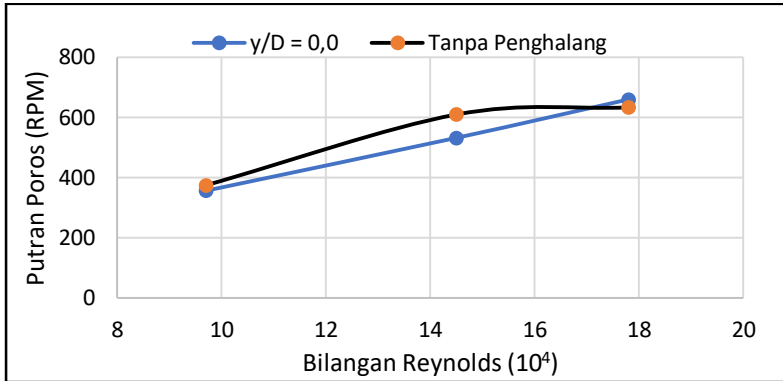
Dari hasil pengujian eksperimen turbin Savonius tanpa penghalang didapatkan data CoP terhadap TSR. Dari grafik diatas didapatkan nilai CoP akan semakin tinggi seiring dengan naiknya bilangan Reynolds. Tetapi akan turun pada saat melebihi titik optimumnya. Dikarenakan Nilai CoP *maximum* tertinggi pada bilangan Reynolds = 9×10^4 , maka turbin angin Savonius ini lebih efisien digunakan pada kecepatan 5,01 m/s. Pada bilangan Reynolds $13,8 \times 10^4$ terjadi penurunan nilai CoP. Hal ini dikarenakan meningkatnya kecepatan angin akan membuat putaran turbin semakin cepat dan turbin akan membentuk seperti *solid wall*, dimana fluida tidak dapat mencapai sudu turbin. Sehingga daya turbin yang dihasilkan lebih rendah.



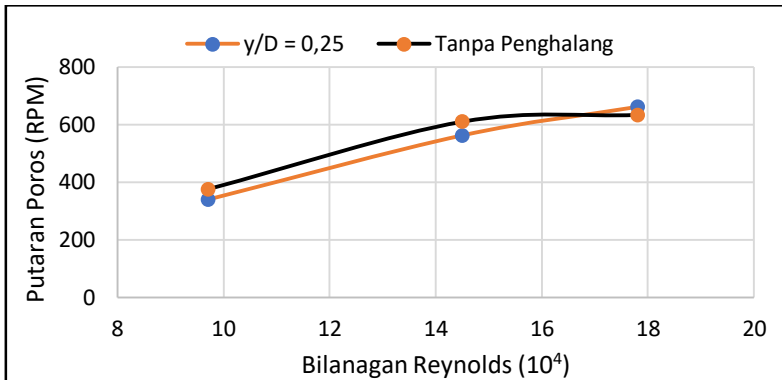
Gambar 2. 26 Grafik Torsi Statis terhadap Sudut (Zulhan & Yuwono, 2018)

Pada gambar 2.26 dapat dilihat bahwa nilai dari torsi statis akan meningkat seiring dengan meningkatnya bilangan Reynolds. Bilangan Reynolds = $16,8 \times 10^4$ mempunyai nilai tertinggi dan terendah dikarenakan semakin tinggi bilangan Reynolds, maka kecepatan angin yang mengenai turbin akan semakin tinggi. Dan hal ini akan menyebabkan gaya *drag* pada turbin semakin meningkat. Sudut 30° mempunyai nilai tertinggi pada semua variasi bilangan Reynolds, sedangkan sudut 150° mempunyai nilai terendah. Pada sudut 30° mempunyai nilai tertinggi diduga karena pada sudut tersebut nilai gaya drag pada *advancing blade* lebih tinggi dibandingkan pada *returning blade* serta terdapat gaya *lift* yang searah dengan gaya drag *advancing blade*. Pada sudut 150° derajat gaya drag pada *advancing blade* lebih rendah dibandingkan pada *returning blade* serta diduga gaya *lift* yang terjadi berlawanan arah dengan gaya drag pada *advancing blade* sehingga menghasilkan nilai negatif. Hal ini akan menghasilkan *drag* yang lebih rendah dan akan menghasilkan daya yang kecil.

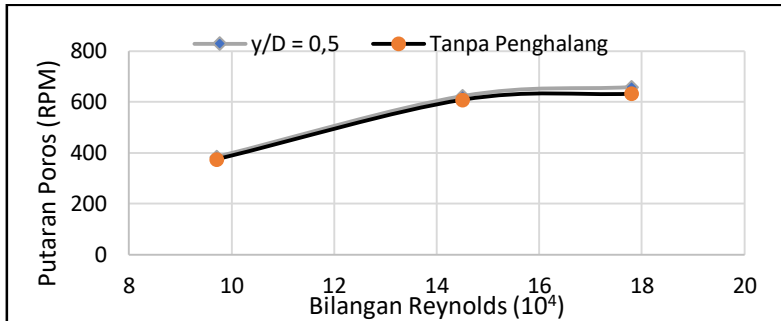
Setelah mengetahui pengaruh variasi pada pengujian tanpa silinder penghalang, selanjutnya dilakukan penelitian menggunakan silinder penghalang dengan variasi $y/D = 0,0; 0,25; 0,5$ dan diletakkan pada jarak S/D 1,2.



Gambar 2. 27 Grafik Putaran Poros terhadap Bilangan Reynolds pada Turbin Tanpa Penghalang dengan Turbin Berpenghalang pada Posisi $y/D = 0,0$ (Zulhan & Yuwono, 2018)

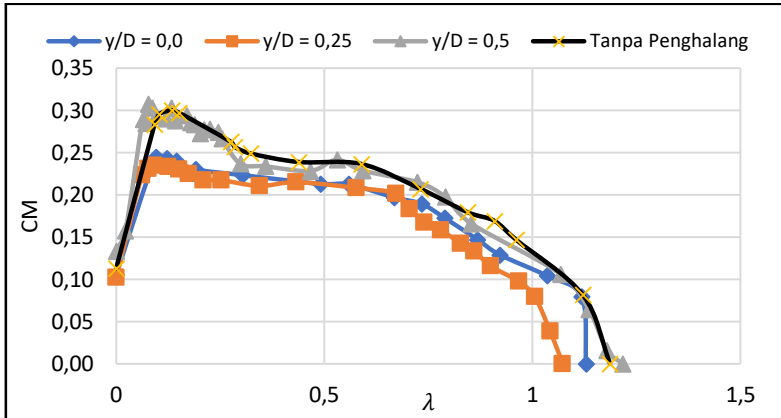


Gambar 2. 28 Grafik Putaran Poros terhadap Bilangan Reynolds pada Turbin Tanpa Penghalang dengan Turbin Berpenghalang pada Posisi $y/D = 0,25$ (Zulhan & Yuwono, 2018)

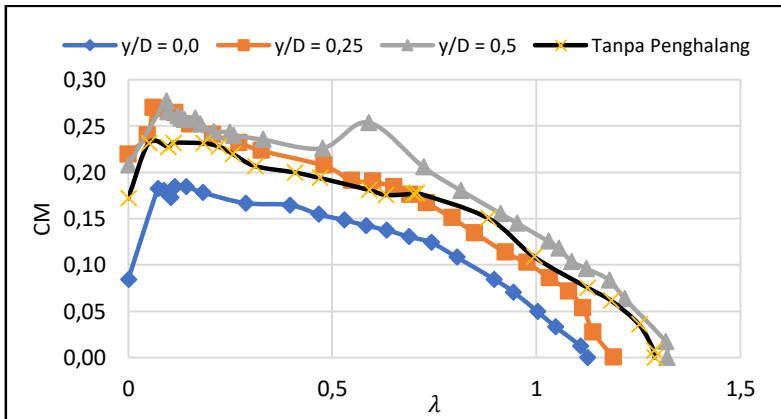


Gambar 2. 29 Grafik Putaran Poros terhadap Bilangan Reynolds pada Turbin Tanpa Penghalang dengan Turbin Berpenghalang pada Posisi $y/D = 0,5$ (Zulhan & Yuwono, 2018)

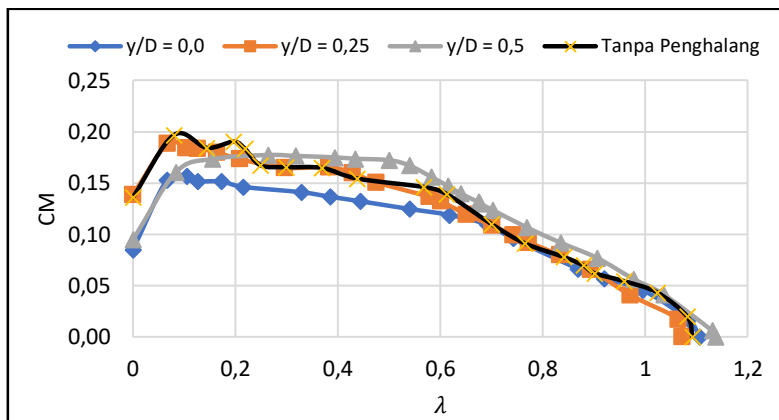
Dari gambar 2.27, 2.28, dan 2.29 dapat dilihat hubungan putaran poros terhadap bilangan Reynolds turbin berpenghalang maupun tanpa penghalang. Pada posisi $y/D = 0,0$ putaran poros pada turbin tanpa penghalang meningkat seiring dengan naiknya bilangan Reynolds, sedangkan nilai tertinggi pada turbin berpenghalang juga berada pada bilangan Reynolds $17,8 \times 10^4$. Pada posisi ini penempatan silinder pengganggu tidak terlalu efektif dikarenakan kenaikan yang tidak signifikan. Pada posisi $y/D = 0,25$ penempatan silinder pengganggu efektif, dikarenakan gaya *drag* pada *returning blade* lebih rendah dari tanpa penghalang dan menyebabkan resultan gaya *drag* lebih tinggi sehingga putaran poros semakin lebih tinggi dibandingkan tanpa penghalang. Penambahan silinder pengganggu pada posisi $y/D = 0,5$ efektif pada bilangan Reynolds = $14,5 \times 10^4$ dan $17,8 \times 10^4$. Hal ini dapat dikarenakan gaya *drag* pada *returning blade* lebih rendah dari tanpa penghalang dan menyebabkan resultan gaya *drag* lebih tinggi sehingga putaran poros semakin lebih tinggi dibandingkan tanpa penghalang. Sedangkan pada bilangan Reynolds 9×10^4 penempatan silinder pengganggu tidak efektif.



Gambar 2. 30 Grafik *Coefficient of Moment* terhadap *Tip Speed Ratio* dengan Penghalang pada Posisi Bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ (Zulhan & Yuwono, 2018)

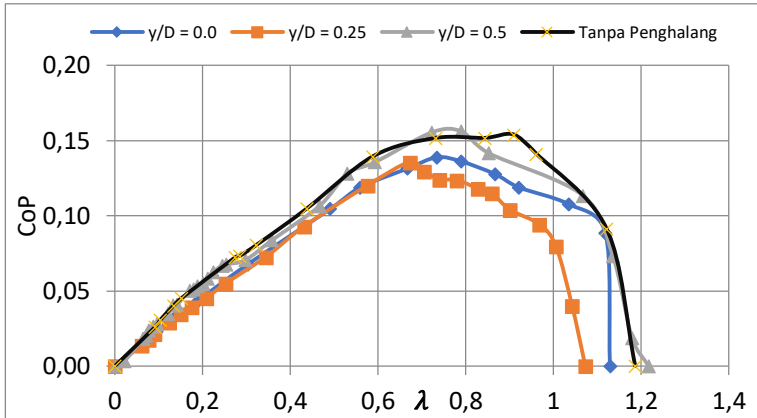


Gambar 2. 31 Grafik *Coefficient of Moment* terhadap *Tip Speed Ratio* dengan Penghalang pada Posisi Bilangan Reynolds $14,5 \times 10^4$ (Zulhan & Yuwono, 2018)

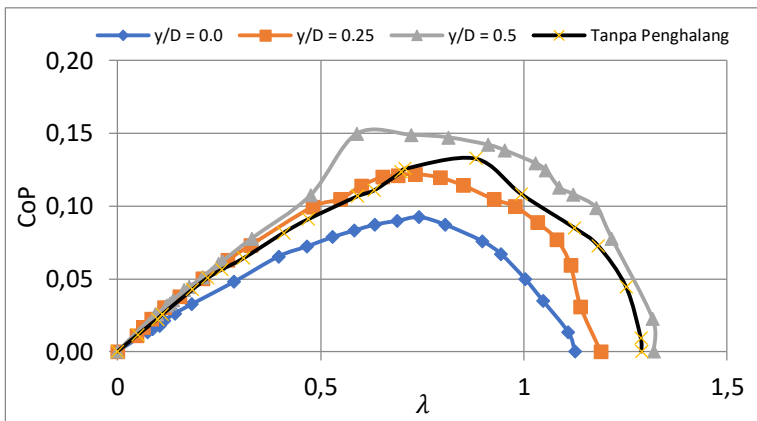


Gambar 2. 32 Grafik *Coefficient of Moment* terhadap *Tip Speed Ratio* dengan Penghalang pada Posisi Bilangan Reynolds $17,8 \times 10^4$ (Zulhan & Yuwono, 2018)

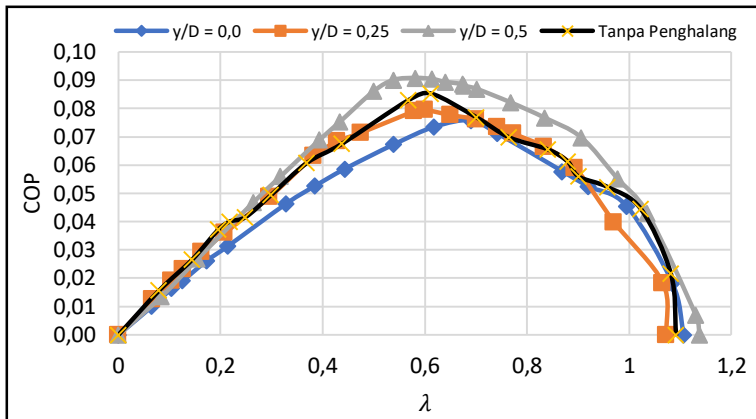
Pada gambar 2.30, 2.31, dan 2.32 terlihat hubungan *Coefficient of Moment* terhadap *Tip Speed Ratio* dengan penghalang pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$; $14,5 \times 10^4$; $17,8 \times 10^4$. Pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan $14,5 \times 10^4$ nilai CM pada posisi $y/D = 0,5$ tertinggi dikarenakan silinder penghalang dapat mengurangi gaya *drag* pada sisi *returning blade* sehingga resultan gaya *drag* semakin tinggi dan torsi yang dihasilkan akan lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa penghalang. Pada bilangan Reynolds $17,8 \times 10^4$ nilai CM tanpa penghalang hampir sama dengan posisi y/D silinder penghalang. Hal ini menyatakan bahwa jika turbin beroperasi pada bilangan Reynolds tersebut, dengan menambahkan silinder pengganggu nilai CM tidak naik secara signifikan dan tidak efektif dikarenakan gaya *drag* yang terjadi pada *returning blade* dan momentum fluida pada *advancing blade* tidak berbeda jika ditambahkan silinder penghalang.



Gambar 2.33 Grafik *Coefficient of Power* terhadap *Tip Speed Ratio* dengan Variasi Posisi y/D pada Bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ (Zulhan & Yuwono, 2018)

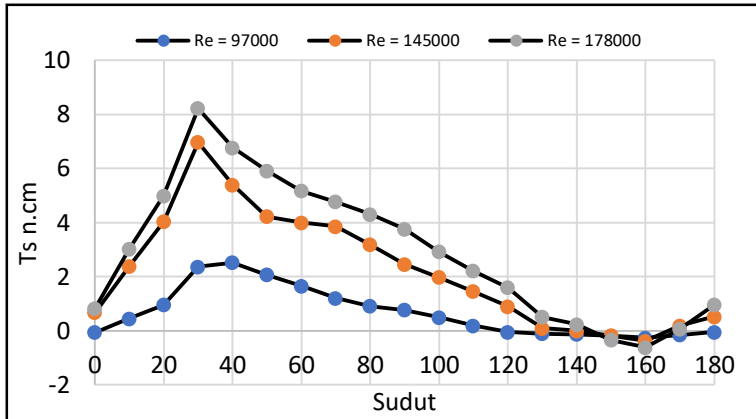


Gambar 2.34 Grafik *Coefficient of Power* terhadap *Tip Speed Ratio* dengan Variasi Posisi y/D pada Bilangan Reynolds $14,5 \times 10^4$ (Zulhan & Yuwono, 2018)



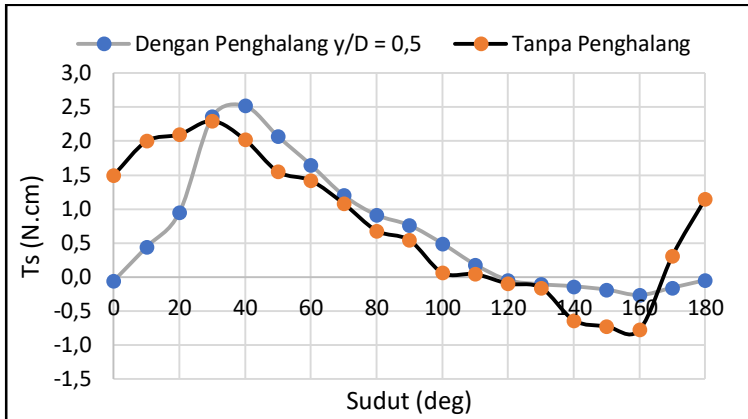
Gambar 2. 35 Grafik *Coefficient of Power* terhadap *Tip Speed Ratio* dengan Variasi Posisi y/D pada Bilangan Reynolds $17,8 \times 10^4$ (Zulhan & Yuwono, 2018)

Pada gambar 2.33, 2.34, dan 2.35 terlihat hubungan *Coefficient of Power* terhadap *Tip Speed Ratio* dengan penghalang pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$; $14,5 \times 10^4$; $17,8 \times 10^4$. Pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ pada posisi $y/D = 0,5$ dan $0,25$ diduga resultan gaya *drag* yang terjadi pada turbin Savonius lebih tinggi dibandingkan tanpa penghalang dikarenakan penambahan silinder penghalang didepan *returning blade* mereduksi gaya *drag* nya dari pada tanpa penghalang dan nilai CoP yang dihasilkan akan naik. Pada posisi $y/D = 0$ penurunan CoP diduga dikarenakan penempatan silinder pengganggu pada posisi menghambat aliran udara kearah *advancing blade* sehingga resultan torsi lebih rendah dibandingkan tanpa penghalang dan nilai CoP yang dihasilkan lebih rendah. Oleh karena itu penempatan silinder pengganggu efektif pada posisi $y/D = 0,5$ dan $0,25$.

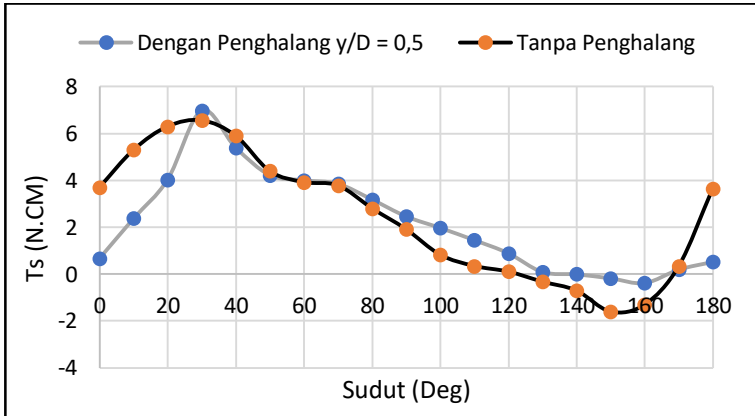


Gambar 2. 36 Grafik Torsi Statis Berpenghalang pada Posisi $y/D : 0,5$ terhadap Sudut Buka-an Turbin dengan Variasi Bilangan Reynolds. (Zulhan & Yuwono, 2018)

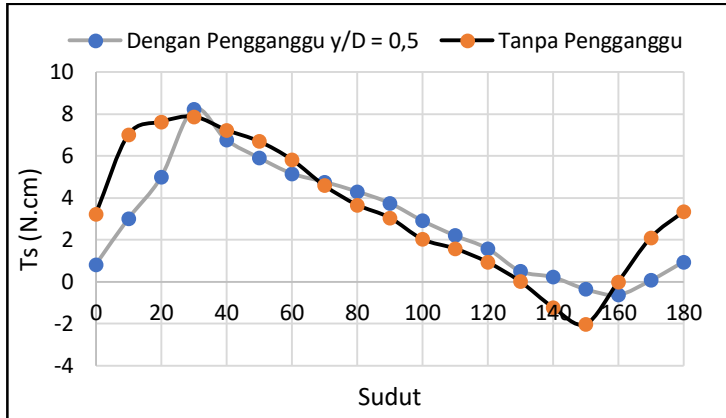
Pada gambar 2.36 sudut 40° mempunyai nilai terendah diduga karena pada sudut tersebut nilai gaya *drag advancing blade* lebih tinggi dibandingkan pada *returning blade* serta terdapat gaya *lift* yang searah dengan gaya *drag advancing blade*. Pada sudut 160° gaya *drag* pada *advancing blade* lebih rendah dibandingkan pada *returning blade* serta diduga gaya *lift* yang terjadi berlawanan arah dengan gaya *drag advancing blade* sehingga menghasilkan nilai negatif. Hal ini akan menghasilkan *drag* yang lebih rendah yang akan menghasilkan daya yang kecil.



Gambar 2. 37 Grafik Komparasi Torsi Statis antara Turbin Angin Tanpa Penghalang dengan Turbin Angin Berpenghalang pada Bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ (Zulhan & Yuwono, 2018)



Gambar 2. 38 Grafik Komparasi Torsi Statis antara Turbin Angin Tanpa Penghalang dengan Turbin Angin Berpenghalang pada Bilangan Reynolds $14,5 \times 10^4$ (Zulhan & Yuwono, 2018)



Gambar 2. 39 Grafik Komparasi Torsi Statis antara Turbin Angin Tanpa Penghalang dengan Turbin Angin Berpenghalang pada Bilangan Reynolds $17,8 \times 10^4$ (Zulhan & Yuwono, 2018)

Pada gambar 2.37 pengaruh dari penambahan silinder penghalang adalah menaikkan nilai torsi maksimum serta mundurnya sudut torsi statis maksimumnya. Torsi minimumnya juga mengalami kenaikan, sehingga *self starting* turbin Savonius berpenghalang lebih baik dibandingkan tanpa penghalang. Naiknya nilai maksimum torsi statis diduga dikarenakan penurunan gaya *drag* pada *returning blade*. Pada gambar 2.38 nilai torsi minimum mengalami kenaikan sehingga *self starting* turbin Savonius berpenghalang pada sudut antara 80° hingga 170° lebih baik dibandingkan tanpa penghalang. Naiknya nilai minimum torsi statis diduga dikarenakan penurunan gaya *drag* pada *returning blade*. Sedangkan pada gambar 2.39 nilai torsi minimum mengalami kenaikan, sehingga *self starting* turbin Savonius berpenghalang pada sudut antara 30° hingga 160° lebih baik dibandingkan tanpa penghalang. Naiknya nilai minimum torsi statis diduga dikarenakan penurunan gaya *drag* pada *returning blade*. Pada sudut 0° hingga 20° dan 170° hingga 180° mempunyai nilai torsi statis lebih rendah. Hal ini diduga karena menambahkan

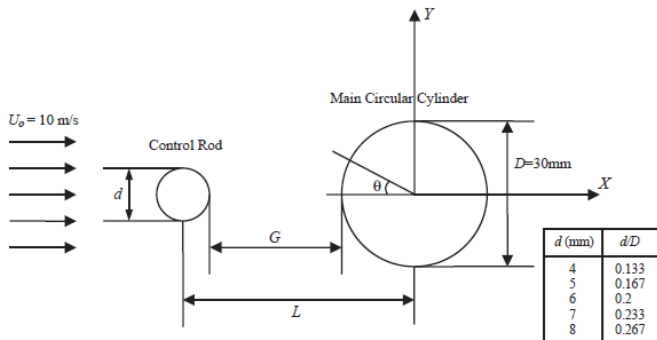
silinder pengganggu aliran fluida terhambat sehingga torsi yang dihasilkan lebih rendah.

Dari penelitian ini didapatkan bahwa dengan menambahkan silinder pengganggu didepan *returning blade*, turbin Savonius pada posisi $S/D = 1,2$ dengan $d/D = 0,2$ dapat meningkatkan performa. Hal ini dapat dilihat dari peningkatan nilai putaran poros, nilai torsi statis, *Coefficient of Power* dan *Coefficient of Moment* dibandingkan dengan tanpa penghalang. Pada $y/D = 0,0$ penempatan silinder pengganggu efektif beroperasi pada bilangan Reynolds $16,8 \times 10^4$ dengan kenaikan 4,2%. Pada $y/D = 0,25$ penempatan silinder pengganggu efektif pada bilangan Reynolds $16,8 \times 10^4$ dengan kenaikan 4,4 %, penempatan silinder pada $y/D = 0,5$ semua bilangna Reynolds dengan kenaikan tertinggi pada bilangan Reynolds = $16,8 \times 10^4$ dengan nilai 4,3 %. Penempatan Silinder pengganggu pada posisi $S/D = 1,2$ dan $y/D = 0,5$ dapat meningkatkan nilai CoP secara efektif pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$, $14,5 \times 10^4$ dan $17,8 \times 10^4$. Pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dengan kenaikan CoP sebesar 1,3 % dari nilai tanpa penghalang sedangkan pada bilangan Reynolds = $14,5 \times 10^4$ memiliki kenaikan CoP sebesar 12% dari nilai tanpa penghalang dan pada bilangan Reynolds $17,8 \times 10^4$ terjadi kenaikan CoP sebesar 6,8% kali dari nilai tanpa penghalang sedangkan pada variasi $y/D = 0,0$ dan $0,25$ pada semua variasi bilangan Reynolds tidak efektif. Penambahan silinder penghalang didepan *returning blade* pada posisi $y/D = 0,5$ efektif meningkatkan nilai torsi statis pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$, $14,5 \times 10^4$ dan $17,8 \times 10^4$. Pada bilangan Reynolds = $9,7 \times 10^4$ terjadi kenaikan nilai torsi statis sebesar 9% dari nilai torsi statis tanpa penghalang sedangkan pada bilangan Reynolds = $14,5 \times 10^4$ terjadi kenaikan sebesar 6% dari nilai torsi statis tanpa penghalang dan pada bilangan Reynolds = $17,8 \times 10^4$ terjadi kenaikan sebesar 4% dari nilai torsi statis tanpa penghalang. Dengan menambahkan penghalang turbin Savonius lebih baik dibandingkan dengan tanpa penghalang dapat dilihat dari peningkatan nilai torsi statisnya. Nilai *Coefficient of Moment* meningkat dengan menambahkan silinder pengganggu pada posisi

y/D 0,5 pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan $14,5 \times 10^4$ pada bilangan Reynolds = $9,7 \times 10^4$ terjadi kenaikan sebesar 3,4% dari nilai *Coefficient of Moment* tanpa penghalang pada bilangan Reynolds = $13,8 \times 10^4$ terjadi kenaikan sebesar 16% dari nilai *Coefficient of Moment* tanpa penghalang. sedangkan pada bilangan Reynolds = $16,8 \times 10^4$ menambahkan silinder pengganggu tidak efektif.

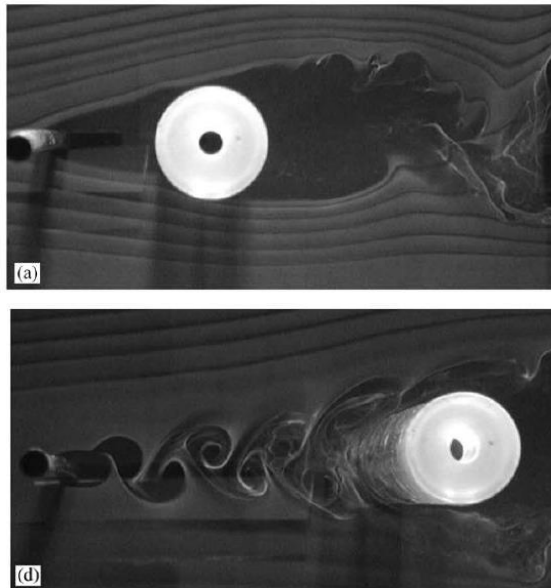
2.12.4 Studi Pengaruh Penempatan Silinder Pengganggu Didepan Silinder Sirkular Utama Terhadap Penurunan Drag

Penelitian yang telah dilakukan oleh Lee et al (2004) dilakukan secara eksperimen dengan peletakkan silinder pengganggu pada sisi *upstream* dari silinder sirkular. Eksperimen ini dilakukan pada *subsonic wind tunnel* dengan kecepatan *freestream* (U_0) sebesar 10 m/s dengan bilangan Reynolds 20.000. Diameter silinder utama (D) yaitu sebesar 30 mm dengan menggunakan material akrilik, sedangkan untuk silinder pengganggu menggunakan *stainless steel* sebagai materialnya dengan variasi diameter silinder pengganggu $0,133 \leq d/D \leq 0,267$. Jarak antara silinder utama dengan silinder pengganggu $1,5 \leq 4,0$. Skema dari penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.40.

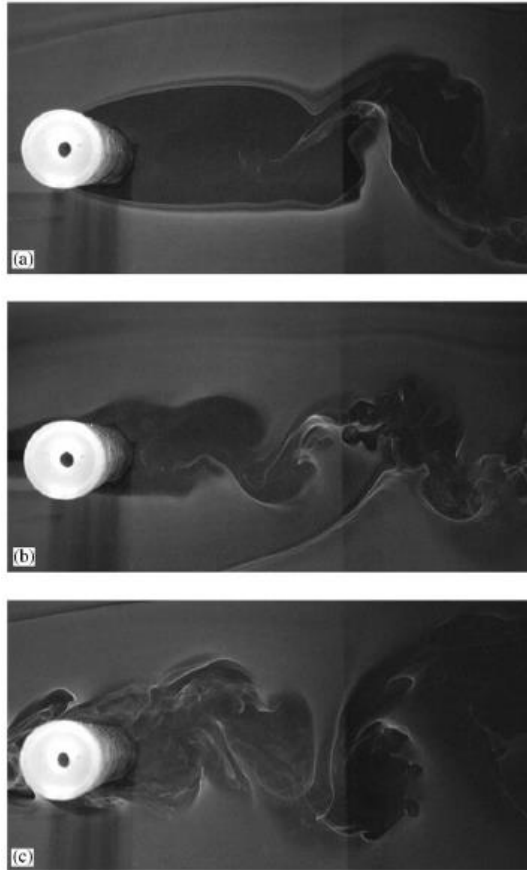


Gambar 2. 40 Skema Eksperimen dan Sumbu Koordinat (Lee et al, 2004)

Hasil yang didapatkan dari penelitian ini yaitu visualisasi aliran dengan menggunakan metode *smoke-wire*, namun filamen asap akan menghilang untuk pembacaan bilangan Reynolds diatas 6000 sehingga digunakan kecepatan *freestream* sebesar 2 m/s atau setara dengan bilangan Reynolds 4000 untuk mendapatkan hasil visual yang baik. Visualisasi aliran yang terjadi antara silinder utama dengan silinder pengganggu dapat dilihat pada gambar 2.41. Sedangkan untuk visualisasi aliran yang terjadi dibelakang silinder utama dapat dilihat pada gambar 2.42.



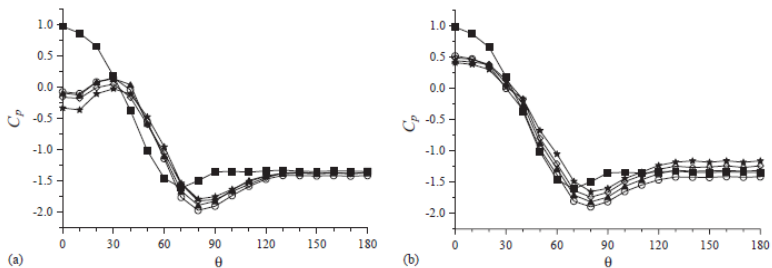
Gambar 2. 41 Visualisasi Aliran Antara Silinder Utama Dengan Silinder Pengganggu Pada Jarak L/D (a) 2,0 dan (b) 3,0 (Lee et al, 2004)



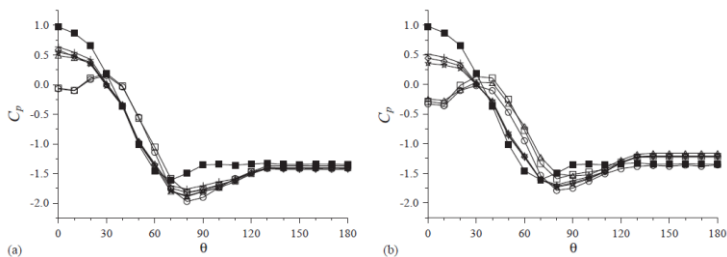
Gambar 2. 42 Visualisasi Aliran Dibelakang Silinder Utama Dengan dan Tanpa Silinder Pengganggu (Lee et al, 2004)

Hasil lain yang didapatkan dari penelitian ini adalah distribusi tekanan pada silinder utama seperti yang terlihat dari gambar 2.43, dimana pada gambar 2.43 (a) tekanan pada daerah stagnasi silinder utama berkurang signifikan. Penggunaan silinder pengganggu efektif menurunkan *drag* akibat turunnya tekanan

pada silinder utama dibandingkan dengan tanpa penambahan silinder pengganggu. Semakin besar diameter silinder pengganggu, *pressure coefficient* (C_p) akan semakin menurun pada sisi depan permukaan silinder utama. Peletakan silinder pengganggu yang semakin jauh menyebabkan tekanan naik kembali pada bagian samping dan belakang permukaan silinder utama. Variasi diameter silinder pengganggu dan peletakannya menyebabkan titik separasi aliran mundur dari 70° ke 80° dibandingkan dengan tanpa penambahan silinder penghalang. Pada gambar 2.43 (b) distribusi tekanan pada silinder utama serupa dengan yang terjadi pada gambar 2.43 (a).

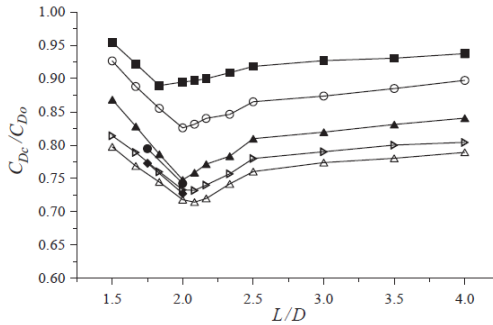


Gambar 2. 43 Pengaruh Diameter Silinder Pengganggu Terhadap Distribusi Tekanan L/D (a) 1,5 dan (b) 2,17 (Lee et al, 2004)

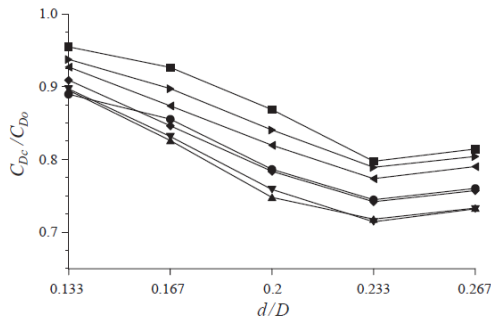


Gambar 2. 44 Pengaruh Jarak Penempatan Silinder Pengganggu Terhadap Distribusi Tekanan d/D (a) 0,133 dan (b) 0,233 (Lee et al, 2004)

Dapat dilihat pula pada gambar 2.44 bahwa hasil pengaruh jarak penempatan silinder pengganggu terhadap distribusi tekanan pada diameter silinder pengganggu $0,133 \leq d/D \leq 0,233$. Semakin jauh jarak penempatan silinder pengganggu, maka tekanan pada daerah stagnasi meningkat pada seluruh ukuran d/D yang digunakan.



Gambar 2. 45 Pengaruh Diameter Silinder Pengganggu Terhadap Pengurangan *Drag* pada Silinder Utama (Lee et al, 2004)



Gambar 2. 46 Pengaruh Jarak Peletakan Silinder Pengganggu Terhadap Pengurangan *Drag* pada Silinder Utama (Lee et al, 2004)

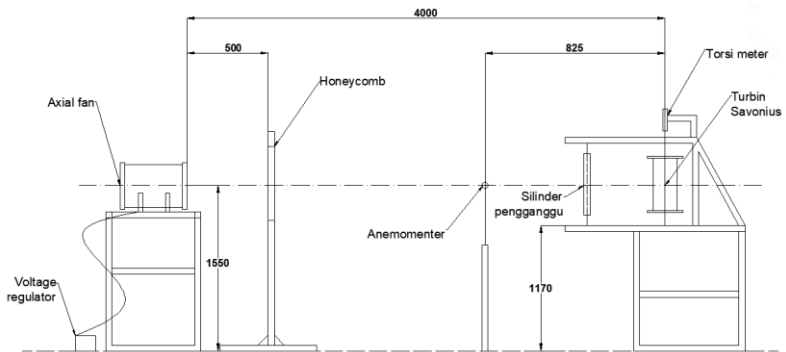
Selain itu didapatkan pula hasil berupa grafik antara pengaruh diameter silinder pengganggu dengan peletakan silinder pengganggu terhadap pengurangan *drag* pada silinder utama. Pada gambar 2.45 menunjukkan pengaruh diameter silinder pengganggu terhadap *drag* untuk variasi jarak penempatan silinder pengganggu. Pada setiap sistem yang diuji, *drag* yang terjadi pada silinder utama berkurang dengan penambahan silinder pengganggu pada sisi *upstream*. Semakin meningkatnya diameter silinder pengganggu, koefisien *drag* semakin menurun. Silinder utama menunjukkan penurunan *drag* maksimal sekitar 29% pada ukuran d/D yaitu 0,233 dengan penempatan L/D 2,083 dibandingkan dengan tidak adanya penambahan silinder pengganggu. Untuk seluruh variasi diameter silinder pengganggu, koefisien *drag* menurun hingga nilai minimal pada L/D yang kecil dan naik kembali seiring dengan meningkatnya L/D .

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

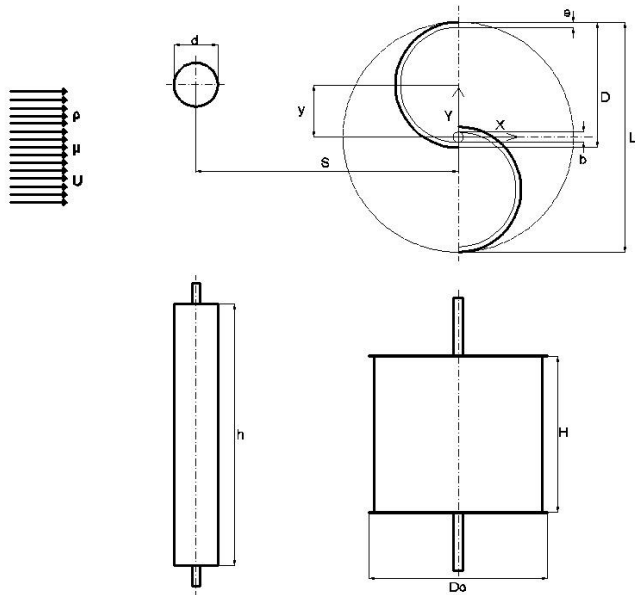
BAB III METODOLOGI

3.1. Analisa Parameter

Skema penelitian dan parameter yang akan dianalisa pada penelitian ini dapat dilihat dari gambar 3.1 dan 3.2. Adapun parameter yang mempengaruhi penelitian kali ini adalah diameter pengganggu (d), densitas udara (ρ), kecepatan fluida (v), viskositas udara (μ), diameter turbin (D), diameter poros (b), dan letak pengganggu terhadap returning blade (S/D).



Gambar 3. 1 Skema Penelitian Turbin Savonius



Gambar 3. 2 Skema Penelitian dan Parameter Ukur

Dimana:

- D : diameter sudu Turbin Savonius (m)
 S : jarak antara pusat silinder pengganggu dengan pusat turbin Savonius pararel dengan datangnya angin (m)
 d : diameter silinder pengganggu (m)
 H : tinggi turbin Savonius (m)
 b : diameter poros (m)
 V : kecepatan aliran udara (m/s)
 ρ : densitas udara (kg/m^3)
 μ : viskositas dinamik udara (N.s/m^2)
 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 : 2,8
 Re : $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$

3.2. Analisa Dimensi Coefficient of Power (CoP)

Analisa dimensi nilai *coefficient of power* dalam penelitian ini mengaplikasikan Teorema Phi Buckingham. Langkah-langkah yang dilakukan untuk menganalisa nilai tersebut adalah sebagai berikut:

1. Menentukan parameter-parameter yang mempengaruhi *power*

$$P = f(\rho, \mu, V, b, D, d, n, h, y, S, H)$$

Jumlah parameter (n) = 12 parameter, yaitu:

P : *power* (watt)

ρ : massa jenis udara (kg/m^3)

μ : viskositas absolut udara (N.s/m^2)

V : kecepatan aliran udara (m/s)

b : diameter poros (m)

D : diameter sudu turbin angin Savonius (m)

d : diameter silinder pengganggu (m)

n : putaran turbin (rpm)

h : panjang silinder pengganggu (m)

y : posisi silinder pengganggu terhadap sudu Savonius tegak lurus dengan arah datangnya angin (m)

S : jarak antara pusat silinder pengganggu dengan pusat returning blade (m)

H : tinggi turbin angin Savonius (m)

2. Menentukan grup dimensi primer yang akan digunakan, yaitu M, L, t
3. Membuat dimensi primer dari masing-masing parameter yang ditunjukkan pada tabel 3.1

Tabel 3. 1 Dimensi tiap parameter CoP

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

4. Memilih *repeating parameter* (m) yang jumlahnya sama dengan jumlah dimensi primer yang digunakan, yaitu: ρ , U, D sama dengan 3.
5. Menentukan grup tak berdimensi yang akan dihasilkan. Jumlah grup tak berdimensi yang akan dihasilkan yaitu $12 - 3 = 9$ grup tak berdimensi.

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

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

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

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

$$\pi_5 = \frac{n D}{V}$$

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

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

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

$$\pi_9 = \frac{H}{D}$$

Dari analisa dimensi yang telah dilakukan, didapatkan grup tanpa dimensi sebagai berikut:

π_1 : *coefficient of Power*

π_2 : bilangan Reynolds

π_3 : rasio diameter *overlap* turbin Savonius dengan diameter sudu turbin Savonius dengan diameter turbin Savonius

π_4 : rasio diameter silinder pengganggu dengan diameter turbin Savonius

π_5 : rasio kecepatan tip

π_6 : rasio ketinggian silinder pengganggu dengan diameter sudu turbin Savonius

π_7 : rasio posisi silinder pengganggu tegak lurus dengan datangnya aliran udara dengan diameter sudu turbin Savonius

- π_8 : rasio jarak pusat pengganggu paralel terhadap arah aliran angin dengan diameter turbin Savonius
- π_9 : rasio tinggi turbin angin dengan diameter turbin Savonius

6. Hubungan antara grup variabel yang tak berdimensi adalah:

$$\pi_1 = f(\pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6, \pi_7, \pi_8, \pi_9)$$

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

Pada penelitian ini, $\frac{b}{D}, \frac{S}{D}, \frac{h}{D}, \frac{y}{D}$ dan $\frac{H}{D}$ merupakan variabel tetap, sedangkan $\frac{\mu}{\rho V D}, \frac{n D}{V}$ dan $\frac{d}{D}$ merupakan variabel yang divariasikan. Sehingga persamaannya dapat ditulis sebagai berikut:

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

Dalam penelitian ini nilai D sebanding dengan nilai L, yaitu $L = 2D - b - 2e$, sehingga didapatkan persamaan:

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

Atau dapat ditulis juga menjadi:

$$\text{CoP} = f_4 \left(\text{Re}, \lambda, \frac{d}{D} \right)$$

3.3. Analisa Dimensi Coefficient of Moment (C_M)

Dalam menganalisa dimensi *coefficient of moment*, perlu dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menentukan parameter-parameter yang mempengaruhi *moment*

$$T = f(\rho, \mu, V, b, D, d, n, h, y, S, H)$$

Jumlah parameter (n) = 12 parameter, yaitu:

T : torsi (N.m)

ρ : massa jenis udara (kg/m^3)

μ : viskositas absolut udara (N.s/m^2)

V : kecepatan aliran angin (m/s)

b : diameter poros (m)

D : diameter sudu turbin angin Savonius (m)

d : diameter silinder pengganggu (m)

n : putaran turbin (rpm)

h : panjang silinder pengganggu (m)

y : posisi silinder pengganggu terhadap sudu Savonius tegak lurus dengan arah datangnya angin (m)

S : jarak antara pusat silinder pengganggu dengan pusat returning blade (m)

H : tinggi turbin angin Savonius (m)

2. Menentukan grup dimensi primer yang akan digunakan, yaitu M, L, t
3. Membuat dimensi primer masing-masing parameter yang ditunjukkan pada tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Dimensi tiap parameter CM

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

4. Memilih *repeating parameter* (m) yang jumlahnya sama dengan jumlah dimensi primer yang digunakan, yaitu: ρ , U, D sama dengan 3.
5. Menentukan grup tak berdimensi yang akan dihasilkan. Jumlah grup tak berdimensi yang akan dihasilkan yaitu $12 - 3 = 9$ grup tak berdimensi.

$$\begin{array}{lll} \pi_1 = \frac{T}{\rho V^2 D^3} & \pi_4 = \frac{d}{D} & \pi_7 = \frac{y}{D} \\ \pi_2 = \frac{\mu}{\rho V D} & \pi_5 = \frac{n D}{V} & \pi_8 = \frac{S}{D} \\ \pi_3 = \frac{b}{D} & \pi_6 = \frac{h}{D} & \pi_9 = \frac{H}{D} \end{array}$$

Dari analisa dimensi yang telah dilakukan, didapatkan grup tanpa dimensi sebagai berikut:

- π_1 : *coefficient of Moment*
- π_2 : bilangan Reynolds
- π_3 : rasio diameter *overlap* turbin Savonius dengan diameter sudu turbin Savonius dengan diameter turbin Savonius
- π_4 : rasio diameter silinder pengganggu dengan diameter turbin Savonius
- π_5 : rasio kecepatan tip
- π_6 : rasio ketinggian silinder penngganggu dengan diameter sudu turbin Savonius
- π_7 : rasio posisi silinder pengganggu tegak lurus dengan datangnya aliran udara dengan diameter sudu turbin Savonius
- π_8 : rasio jarak pusat pengganggu paralel terhadap arah aliran angin dengan diameter turbin Savonius
- π_9 : rasio tinggi turbin angin dengan diameter turbin Savonius

6. Hubungan antara grup variabel yang tak berdimensi adalah:

$$\pi_1 = f(\pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6, \pi_7, \pi_8, \pi_9)$$

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

Pada penelitian ini, $\frac{b}{D}, \frac{S}{D}, \frac{h}{D}, \frac{y}{D}$ dan $\frac{H}{D}$ merupakan variabel tetap, sedangkan $\frac{\mu}{\rho V D}, \frac{n D}{V}$ dan $\frac{d}{D}$ merupakan variabel yang divariasikan. Sehingga persamannya dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{T}{\rho V^2 D^3} = f_2 \left(\frac{\mu}{\rho V D}, \frac{n D}{V}, \frac{d}{D} \right)$$

Dalam penelitian ini nilai D sebanding dengan nilai L, yaitu $L = 2D - b - 2e$, sehingga didapatkan persamaan:

$$\frac{T}{\rho V^2 L^3} = f_3 \left(\frac{\mu}{\rho V L}, \frac{n D}{V}, \frac{d}{D} \right)$$

Atau dapat juga ditulis menjadi:

$$CM = f_4 \left(Re, \lambda, \frac{d}{D} \right)$$

3.4. Peralatan Penelitian

Pada pelaksanaan penelitian ini, digunakan peralatan-peralatan guna menunjang agar didapatkan hasil penelitian yang baik. Berikut merupakan peralatan-peralatan yang digunakan yaitu:

3.4.1. Axial Fan

Pada penelitian ini *axial fan* sebagai sumber fluida angin yang digunakan untuk menghasilkan kecepatan angin guna

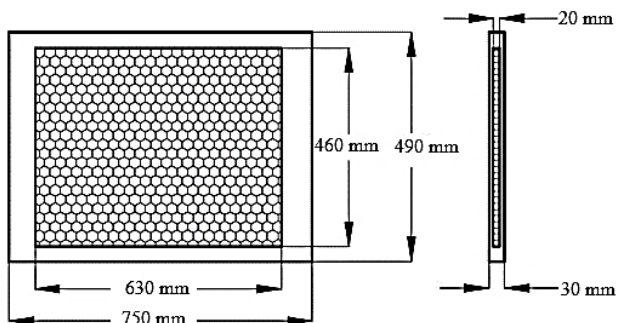
memutar sudu turbin Savonius. *Axial fan* yang digunakan yaitu CKE SPV-18 seperti pada gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Axial Fan CKE SPV-18

3.4.2. Honeycomb

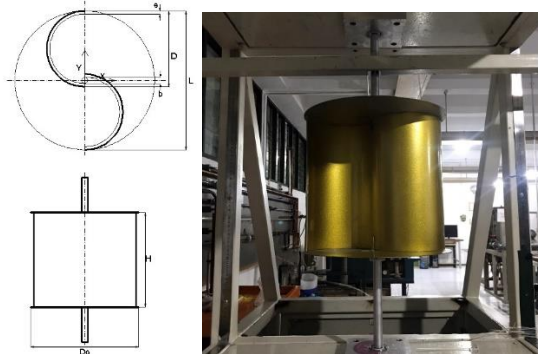
Honeycomb pada penelitian ini digunakan untuk menyeragamkan fluida angin yang bergerak menuju turbin Savonius. Alat ini diletakkan di antara *axial fan* dan turbin Savonius.



Gambar 3. 4 Honeycomb

3.4.3. Turbin Savonius

Pada penelitian ini digunakan turbin angin tipe Savonius seperti pada gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Turbin Savonius

Tabel 3. 3 Spesifikasi Turbin Angin Savonius

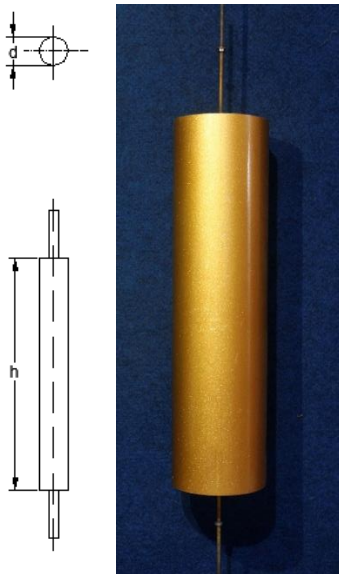
Spesifikasi Turbin Angin Savonius	
Diameter sudu turbin (D)	167,1 mm
Tinggi Turbin (H)	298 mm
Diameter Poros (b)	19 mm
Diameter <i>end plate</i> (Do)	320 mm
Tebal <i>end plate</i>	1 mm
Tebal sudu turbin (e)	2,95 mm

3.4.4. Silinder Pengganggu

Silinder pengganggu pada penelitian kali ini digunakan untuk mengurangi gaya *drag* pada turbin Savonius sehingga diharapkan torsi dari turbin ini dapat meningkat. Silinder ini diletakkan didepan *returning blade* dari turbin Savonius sejauh 2,8

dari diameter turbin. Spesifikasi silinder pengganggu yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Tinggi (h) = 500 mm
2. Rasio posisi silinder pengganggu yang tegak lurus arah datangnya aliran angin dengan diameter sudu turbin Savonius (y/D) = 0,5
3. Rasio diameter silinder pengganggu dan diameter turbin angin Savonius (d/D) = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0



Gambar 3. 6 Silinder Pengganggu

3.4.5. Penyangga Turbin Angin Savonius

Pada penelitian ini penyangga turbin angin digunakan untuk menopang turbin Savonius dan silinder pengganggu seperti gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Penyangga Turbin Savonius

3.4.6. Alat Ukur

Pada penelitian ini digunakan beberapa alat ukur guna menunjang untuk mendapatkan nilai putaran serta torsi yang dihasilkan oleh turbin Savonius.

a. Tachometer

Tachometer adalah alat ukur *digital* yang digunakan untuk mengukur kecepatan rotasi dari objek yang berputar. Pada penelitian ini menggunakan *tachometer* tipe *Economical Non-Contact Pocket Optical Tachometer* OMEGA seri HHT12 seperti pada gambar 3.8.



Gambar 3. 8 Tachometer

Tabel 3. 4 Spesifikasi Tachometer OMEGA HHT12

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

b. Anemometer

Anemometer adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin (*airflow velocity*). Pada penelitian ini menggunakan *anemometer* tipe OMEGA HHF141 *Digital Anemometer* seperti pada gambar 3.9.



Gambar 3. 9 Anemometer

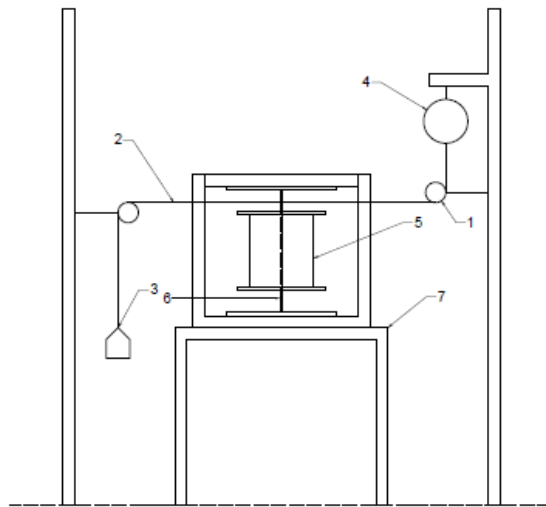
Tabel 3. 5 Spesifikasi Anemometer OMEGA HH141

Range	2,75 inch Air Probe	: 40 to 7800 ft/min : 0.2 to 40.00 m/sec
	Air Probe AP100	: 300 to 6800 ft/min : 1.5 to 35.00 m/sec
Accuracy	Air Velocity	AP275: $\pm 1.0\%$ of reading ± 1 digit AP100: $\pm(0.50\%$ of F.S. $+0.75\%$ of reading $+1$ digit
Resolution	1 ft/min or 0.01 m/sec	
Operating Temperature	Instrument	: 32° to 125°F (0° to 50°C)
	Probes	: -4° to 212°F (-20° to 100°C)
Power Supply	3 AA alkaline batteries	
Battery Life	Approx. 150 hours, without backlight	
Battery Check	Automatic Low Battery display	
Display	0.5" LCD, 4 digits, with LED backlight	

Pengukuran dapat dilakukan dalam beberapa satuan seperti mph, ft/min, knots, m/s dan km/h. Selain itu pada alat ini juga dapat mengukur suhu udara dalam satuan °F maupun °C.

c. Brake Dynamometer

Brake dynamometer adalah alat ukur manual yang digunakan untuk mengukur torsi dinamis. Nilai torsi ini tidak didapatkan secara langsung, namun melalui perhitungan selisih antara massa pemberat dan nilai yang terbaca oleh neraca pegas. Gambar *brake dynamometer* dapat dilihat dari gambar 3.10.



Gambar 3. 10 *Brake Dynamometer*

Keterangan:

1. Sistem *pulley*
2. Benang nilon
3. Massa pemberat
4. Neraca pegas
5. Turbin Savonius
6. Poros turbin Savonius
7. Struktur penyangga turbin Savonius

d. Torque meter

Torque meter adalah alat ukur *digital* yang digunakan untuk mengukur torsi statis dari suatu poros. Pada penelitian ini menggunakan *torque meter* tipe LUTRON TQ-8800 dengan *high resolution* 0,1 N.cm seperti pada gambar 3.11.



Gambar 3. 11 *Torque meter*

Tabel 3. 6 Spesifikasi *Torque meter* LUTRON model TQ-8800

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

e. Voltage Regulator

Voltage regulator digunakan untuk mengatur besar keluaran tegangan yang dibutuhkan. *Voltage regulator* yang digunakan pada penelitian ini adalah *Voltage Regulator* Model TDGC 2J-3 seperti pada gambar 3.12.



Gambar 3. 12 Voltage Regulator

Tabel 3. 7 Spesifikasi Powell Voltage Regulator

TDGC ₂				
Capacity	Phase	Input	Ouput	Frekuensi
3 KV _a	Φ1	220 V	0-250 V	50-60 Hz

f. Neraca Pegas

Neraca pegas pada penelitian ini digunakan untuk mengukur nilai S (gram) guna mendapatkan nilai torsi dinamis pada *brake dynamometer*. Neraca pegas yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.13.



Gambar 3. 13 Neraca Pegas

Tabel 3. 8 Spesifikasi Neraca Pegas NAGATA tipe C-5

Specification NAGATA type C-5	
Capacity	10 kg
Graduation	50 gram
Features	High impact ABS body
Platter Size	Pan size: Ø 290 mm Alum. Round pan Dual display chart, Dial 187 mm

g. Massa Pemberat

Pada penelitian ini digunakan pemberat untuk mendapatkan nilai torsi dinamis dan variasi *tip speed ratio* pada *brake dynamometer*. Pemberat yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.14.

**Gambar 3. 14** Pemberat

3.5. Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.5.1. Torsi Dinamis

1. Menyiapkan peralatan yang akan digunakan.
2. Memasang benda uji pada *test section* didepan *axial fan*.

3. Menyalakan *axial fan* dan mengatur besar tegangan dengan menggunakan *voltage regulator* sehingga didapatkan kecepatan angin sesuai yang diharapkan.
4. Melakukan pengukuran temperatur dengan termometer.
5. Mengukur kecepatan angin menggunakan *anemometer* untuk memperoleh bilangan *Reynolds* yang diinginkan yaitu $9,7 \times 10^4$.
6. Setelah memperoleh bilangan *Reynolds* dan kecepatan angin yang *steady*, kemudian mengukur putaran poros turbin tanpa beban dan silinder pengganggu menggunakan *tachometer*.
7. Mengukur torsi dinamis tanpa beban dan silinder pengganggu menggunakan *brake dynamometer*.
8. Memberikan massa pemberat sesuai dengan variasi massa yang telah ditentukan.
9. Mengukur kecepatan putaran poros dengan *tachometer*.
10. Mengukur massa yang terbaca pada timbangan pegas untuk nilai torsi dinamis.
11. Mengulangi langkah 8 – 10 hingga turbin Savonius berhenti berputar atau sampai mendapatkan *tip speed ratio* = 0.
12. Mengulangi langkah 5 – 11 dengan mengubah bilangan *Reynolds* = $13,6 \times 10^4$.
13. Meletakkan silinder pengganggu dengan mengatur ukuran diameter turbin Savonius dan diameter silinder pengganggu (d/D) sebesar 0,1.
14. Mengukur kecepatan angin dengan *anemometer* pada bilangan *Reynolds* $9,7 \times 10^4$.
15. Setelah memperoleh bilangan *Reynolds* dan kecepatan angin yang *steady*, kemudian mengukur putaran poros dengan silinder pengganggu dan tanpa beban dengan menggunakan *tachometer*.
16. Mengukur torsi dinamis dengan silinder pengganggu dan tanpa beban dengan *brake dynamometer*.

17. Memberikan massa pemberat sesuai dengan variasi massa yang telah ditentukan.
18. Mengukur kecepatan putaran poros dengan *tachometer*.
19. Mengukur massa yang terbaca pada timbangan pegas untuk nilai torsi dinamis.
20. Mengulangi langkah 17 – 19 hingga turbin Savonius berhenti berputar.
21. Mengulangi langkah 14 – 20 dengan mengubah bilangan Reynolds = $13,6 \times 10^4$.
22. Mengulangi langkah 13 – 21 dengan mengubah variasi d/D menjadi 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1.0.
23. Mematikan *axial fan*.
24. Mengolah semua data yang diperoleh (putaran dan torsi dinamis) dan melakukan *plotting* grafik perbandingan *coefficient of power* dengan dan tanpa silinder pengganggu terhadap λ , dan perbandingan *coefficient of moment* dengan dan tanpa silinder pengganggu terhadap λ .

3.5.2. Torsi Statis

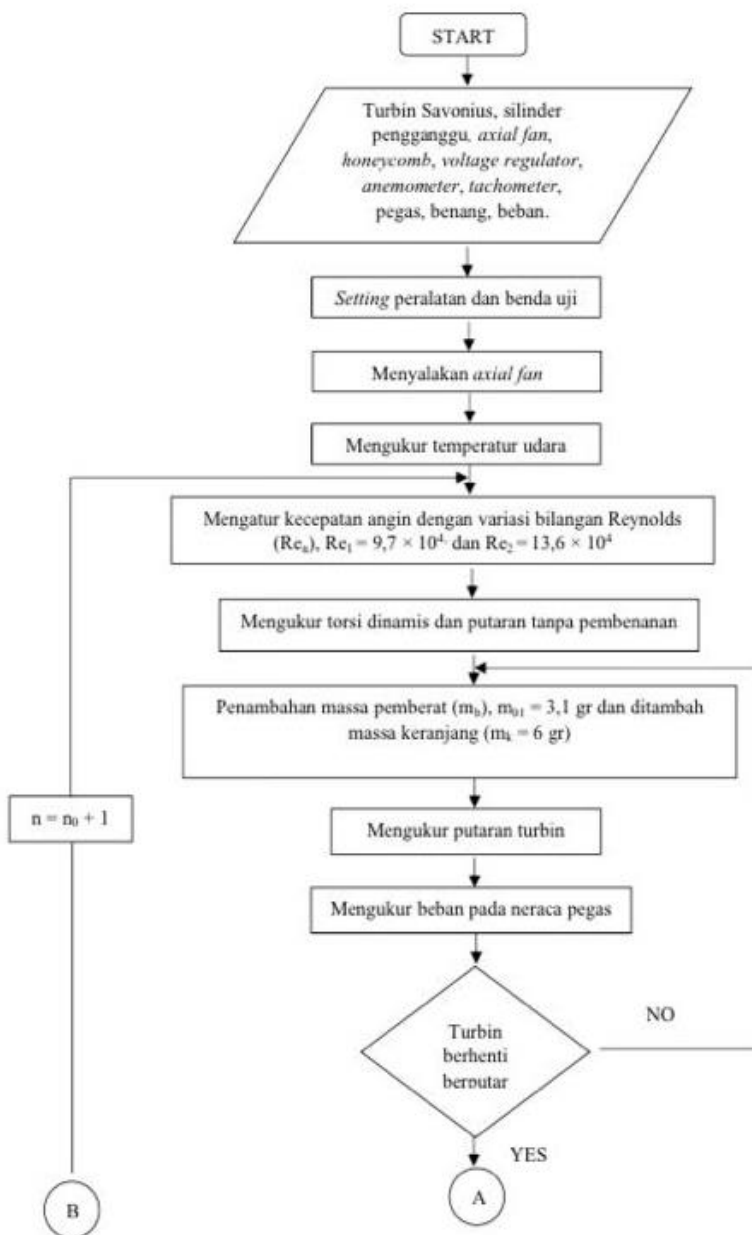
1. Menyiapkan peralatan yang akan digunakan.
2. Memasang benda uji pada *test section* didepan *axial fan*.
3. Mengatur sudut bukaan sudu turbin Savonius sebesar 0° .
4. Menyalakan *axial fan* dan mengatur besar tegangan menggunakan *voltage regulator* sehingga mendapatkan kecepatan angin sesuai yang diharapkan.
5. Mengukur kecepatan angin menggunakan *anemometer* untuk memperoleh bilangan *Reynolds* yang diinginkan, yaitu $9,7 \times 10^4$.
6. Setelah memperoleh bilangan *Reynolds* dan kecepatan angin yang *steady*, kemudian mengukur

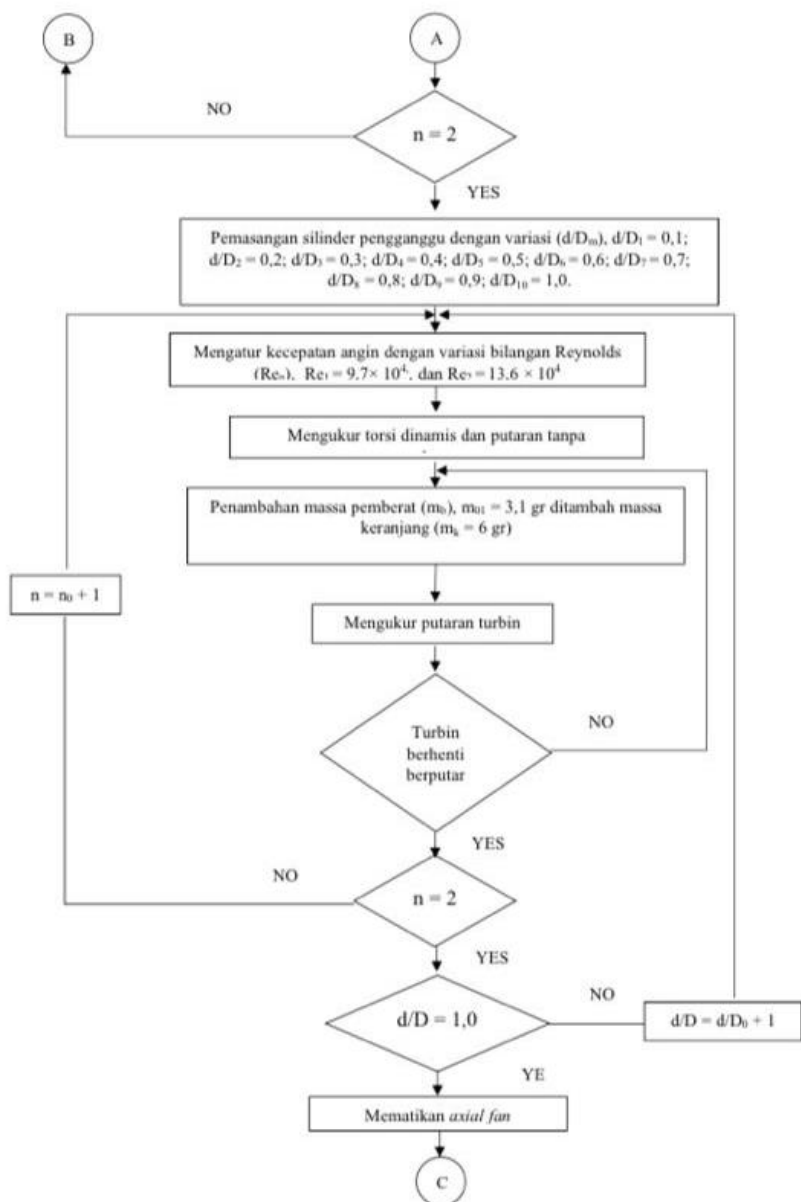
torsi statis tanpa silinder pengganggu dengan *torque meter*.

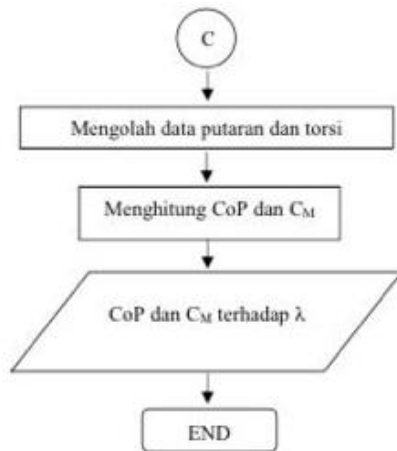
7. Mematikan *axial fan*.
8. Mengulangi langkah 3 - 7 dengan variasi sudut tubin angin Savonius (θ) menjadi $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ (kenaikan 10° tiap pengamatan).
9. Mengulangi langkah 3 - 8 dengan mengubah bilangan Reynolds menjadi $13,6 \times 10^4$.
10. Meletakkan silinder pengganggu dengan mengatur ukuran diameter turbin Savoius dan diameter silinder pengganggu (d/D) sebesar 0,6 pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan d/D sebesar 0,5 pada bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$.
11. Mengatur sudut bukaan sudu turbin Savonius sebesar 0° .
12. Menyalakan *axial fan* dan mengukur kecepatan angin menggunakan *anemometer* pada bilangan Reynolds = $9,7 \times 10^4$.
13. Setelah memperoleh bilangan *Reynolds* dan kecepatan angin yang *steady*, kemudian mengukur torsi statis dengan silinder pengganggu menggunakan *torque meter*.
14. Mematikan *axial fan*.
15. Mengulangi langkah 11 - 14 dengan mengubah sudut tubin angin Savonius (θ) menjadi $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ (kenaikan 10° tiap pengamatan).
16. Mengulangi langkah 11 - 15 dengan mengubah bilangan Reynolds menjadi $13,6 \times 10^4$.
17. Mengolah data torsi statis yang diperoleh dan melakukan *plotting* grafik perbandingan torsi statis dengan dan tanpa silinder pengganggu terhadap θ .

3.6. Flowchart Penelitian

3.6.1. Torsi Dinamis

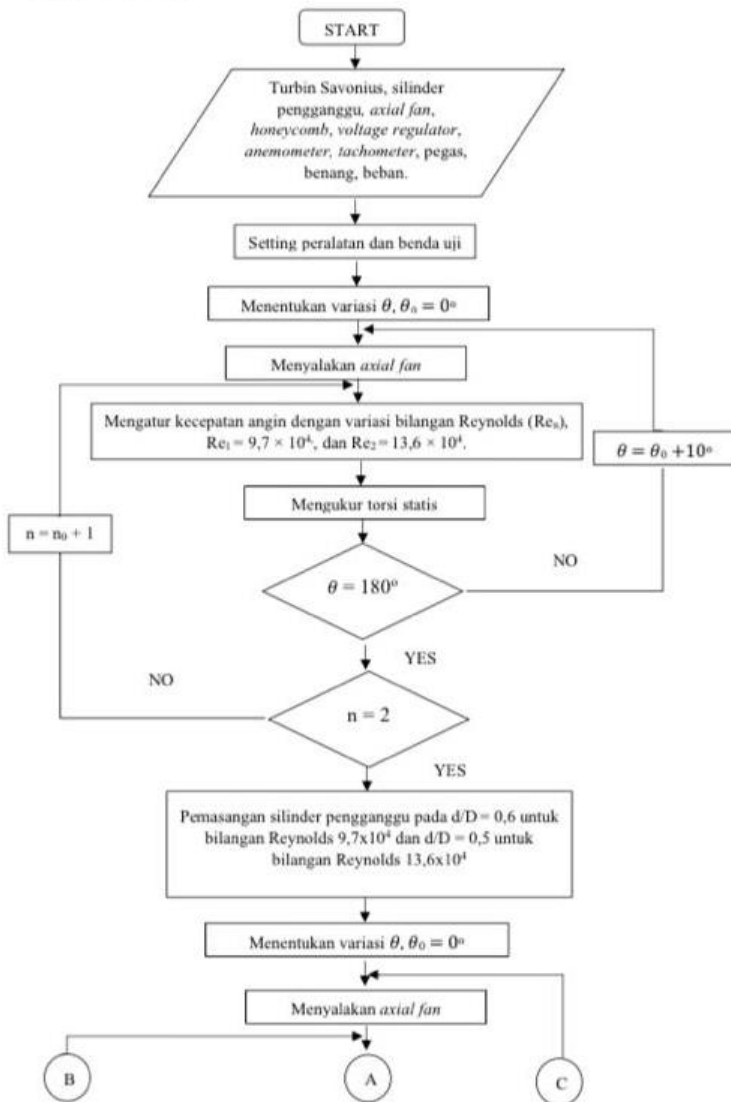


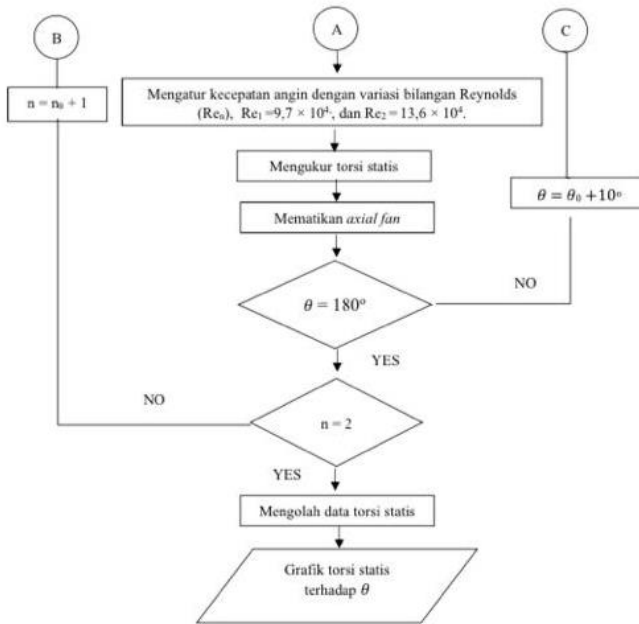




Gambar 3. 15 *Flowchart* Torsi Dinamis

3.6.2. Torsi Statis





Gambar 3. 16 Flowchart Torsi Statis

3.7. Perhitungan Uncertainty

Perhitungan *uncertainty* atau ketidakpastian merupakan bagian yang penting dari hasil suatu analisa kuantitatif. Tanpa pengetahuan tentang ketidakpastian pengukuran, maka pernyataan suatu hasil pengujian belum dapat dikatakan lengkap. Dalam penelitian ini, setiap perhitungan *uncertainty* dari setiap parameter menggunakan data *coefficient of power* di titik maksimum turbin Savonius tanpa silinder pengganggu pada $Re\ 9,7 \times 10^4$. Berikut ini merupakan contoh perhitungan *uncertainty* dari *tip speed ratio* (λ) di titik maksimum.

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

$$d\lambda = \frac{d\lambda}{d\omega} + \frac{d\lambda}{dR} + \frac{d\lambda}{dV}$$

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

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

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

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

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

$$u_{\lambda} = \pm [u_{\omega}^2 + u_R^2 + u_V^2]^{\frac{1}{2}} \quad (3.1)$$

- *Uncertainty* pada pembacaan kecepatan (V)

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

- *Uncertainty* pada pembacaan putaran (ω)

$$u_{\omega} = \pm \frac{0,1}{212,20} = \pm 4,7125 \times 10^{-4}$$

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

$$u_R = \pm \frac{0,5}{154,5} = \pm 3,236 \times 10^{-3}$$

Dari persamaan 3.1 maka nilai dari *uncertainty* dari *tip speed ratio* adalah:

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

$$u_\lambda = \pm [(4,7125 \times 10^{-4})^2 + (3,236 \times 10^{-3})^2 + 0,002^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$u_\lambda = \pm 3,83 \times 10^{-3}$$

$$u_\lambda = 0,38\%$$

Berikut merupakan nilai dari *uncertainty* yang didapatkan untuk bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ pada *coefficient of power* (CoP) maksimal.

Tabel 3. 9 Nilai *Uncertainty* pada Bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$

Parameter	Uncertainty (%)
<i>Coefficient of Power</i> (CoP)	4,55%
<i>Coefficient of Moment</i> (CM)	4,56%
<i>Tip Speed Ratio</i> (λ)	0,38%
Torsi Statis (TS)	2,89%
Torsi Dinamis (T_D)	4,49%

3.8. Hasil yang Diperoleh

Pada penelitian ini, hasil yang telah diperoleh adalah:

1. Grafik *Coefficient of Power* (CoP dan CoP₀) sebagai fungsi *tip speed ratio* (λ).

2. Grafik Perbandingan *Coefficient of Power* maksimal dengan dan tanpa silinder pengganggu (CoP_{max}/CoP_{0max}) sebagai fungsi variasi ukuran silinder pengganggu d/D .
3. Grafik *Coefficient of Moment* (CM dan CM_0) sebagai fungsi *tip speed ratio* (λ).
4. Grafik torsi statis (TS dan TS_0) sebagai fungsi sudut (θ).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Penelitian dan Contoh Perhitungan

Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan, didapatkan data yang menunjukkan pengaruh adanya silinder pengganggu didepan *returning blade* terhadap kinerja turbin Savonius. Adapun data-data yang diperoleh yaitu putaran turbin (n), torsi statis dan torsi dinamis, dimana data tersebut kemudian diolah menjadi *coefficient of power* (CoP) dan *coefficient of moment* (CM). Dalam studi eksperimen ini variasi yang digunakan adalah variasi diameter silinder turbin dengan diameter silinder pengganggu (d/D) serta nilai bilangan Reynolds.

Dengan asumsi fluida udara merupakan aliran *steady* dan *incompressible* didapatkan nilai *properties* sebagai berikut:

1. Tekanan *absolute* udara dalam keadaan standar *atmosphere* (P_1) = 1 atm = 101325 Pa
2. Temperatur udara dalam keadaan standar (T_1) = 288,2 k
3. Temperatur udara ruangan kerja (T_2) = 301,5 k
4. Massa jenis udara dalam keadaan standar (ρ_1) = 1,225 kg/m³

4.1.1 Perhitungan Bilangan Reynolds

Untuk mendapatkan nilai dari bilangan Reynolds maka diperlukan nilai dari massa jenis udara (ρ) dan viskositas udara (μ).

A. Massa Jenis Udara

Dari persamaan umum gas ideal yaitu:

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

Dimana nilai m dan R yang dianggap konstan, maka persamaan tersebut dapat disederhanakan menjadi persamaan Boyle – Gay Lussac tentang pemuaiian gas yaitu sebagai berikut:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \dots\dots\dots(4.2)$$

Dengan $V = \frac{m}{\rho}$, kemudian mensubstitusikan ke persamaan 4.2 akan didapatkan persamaan:

$$\frac{P_1 m_1}{T_1 \rho_1} = \frac{P_2 m_2}{T_2 \rho_2} \dots\dots\dots(4.3)$$

dimana:

P_1 : tekanan absolut udara pada tekanan atmosfer = 1 atm = 101325 Pa

T_1 : temperatur udara pada kondisi 1 (acuan) = 288,2 K

ρ_1 : massa jenis udara pada kondisi 1 (acuan) = 1,225 kg/m³

m_1 : massa udara pada kondisi 1 (acuan)

P_2 : : tekanan absolut udara pada kondisi 2 (penelitian)

T_2 : temperatur udara pada kondisi 2 (penelitian) = 28,5°C = 301,5 K

ρ_2 : massa jenis udara pada kondisi 2 (penelitian)

m_2 : massa udara pada kondisi 2 (penelitian)

Posisi 1 dan 2 berada pada ketinggian yang sama sehingga $P_1 = P_2$ dan $m_1 = m_2$, maka didapatkan persamaan:

$$\rho_2 = \frac{T_1 \rho_1}{T_2} = \frac{288,2 \text{ K} \times 1,225 \text{ kg/m}^3}{301 \text{ K}} = 1,17 \text{ kg/m}^3 \dots\dots\dots(4.4)$$

B. Viskositas Udara

Dari persamaan Sutherland, didapatkan rumusan sebagai berikut:

$$\mu = \frac{b T^{3/2}}{S+T} \dots\dots\dots(4.5)$$

Dimana,

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

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

$$T = \text{temperatur saat penelitian} = 301,5 \text{ K}$$

Dengan mensubtitusikan nilai pada persamaan 4.5 didapatkan:

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

Berdasarkan persamaan 2.4, maka bilangan Reynolds pada kecepatan 5 m/s adalah sebagai berikut:

$$\text{Re} = \frac{\rho v L}{\mu}$$

dimana:

D = diameter sudu turbin Savonius (167,1 mm)

b = diameter poros turbin Savonius (19 mm)

e = tebal sudu turbin Savonius (2,95 mm)

L = Panjang Karatteristik

$$= 2D - b - 2e$$

$$= (2 \times 167,1) - 19 - (2 \times 2,95) = 309 \text{ mm} = 0,309 \text{ m}$$

sehingga:

$$\begin{aligned} \text{Re} &= \frac{1,17 \text{ kg/m}^3 \times 5 \text{ m/s} \times 0,303 \text{ m}}{\left(1,86 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}\right)} = 97185 \\ &\approx 9,7 \times 10^4 \end{aligned}$$

4.1.2 Perhitungan Tips Speed Ratio (λ)

Persamaan untuk mendapatkan nilai *tip speed ratio* pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ adalah sebagai berikut:

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

dimana:

n = jumlah putaran poros turbin Savonius (rpm) pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$

$$\omega = \frac{2 \pi n}{60} = \frac{2 \pi (212,2)}{60} = 22,210 \text{ rad/s}$$

R = jari-jari turbin Savonius
 $= \frac{L}{2} = \frac{0,309}{2} = 0,1545 \text{ m}$

V = kecepatan pada 5 m/s

Sehingga:

$$\lambda = \frac{22,210 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \times 0,1545 \text{ m}}{5 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,686$$

4.1.3 Perhitungan Torsi Dinamis

Persamaan untuk mendapatkan nilai torsi dinamis ketika bilangan Reynolds = $9,7 \times 10^4$ adalah sebagai berikut:

$$T_d = |s - m| \times g \times r$$

dimana:

s = massa pegas yang terbaca pada neraca pegas (gr) = 520

gr

m = massa beban yang digantungkan pada benang (gr) = 27,7

gr

g = gravitasi bumi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

r = jari-jari poros yang dililit benang = 12,5 mm = 0,0125 m

sehingga:

$$T_d = \left| \frac{520 - 27,7}{1000} \right| \text{kg} \times 9,18 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,0125 \text{ m} = 0,0603 \text{ Nm}$$

4.1.4 Perhitungan Coefficient of Power (CoP)

Persamaan untuk mendapatkan nilai *Coefficient of Power* (CoP) pada bilangan Reynolds = $9,7 \times 10^4$ adalah sebagai berikut:

$$\text{CoP} = \frac{|s - m| \times g \times r \times \omega}{\frac{1}{2} \times \rho \times A \times V^3}$$

dimana:

A = luas penampang pada turbin angin Savonius yang ditabrak oleh angin

$$= L \times H = 0,309 \text{ m} \times 0,298 \text{ m} = 0,092 \text{ m}^2$$

r = jari-jari poros yang dililit benang = 0,0125 m

ω = kecepatan sudut turbin Savonius = 22,210 rad/s

sehingga:

$$\begin{aligned} \text{CoP} &= \frac{\left| \frac{520 - 27,7}{1000} \right| \text{kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,0125 \text{ m} \times 22,210 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{\frac{1}{2} \times 1,17 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,092 \text{ m}^2 \times (5)^3 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \\ &= 0,1993 \end{aligned}$$

4.1.5 Perhitungan Coefficient of Moment (CM)

Persamaan untuk mendapatkan nilai *Coefficient of Moment* (CM) pada bilangan Reynolds = $9,7 \times 10^4$ adalah sebagai berikut:

$$\text{CM} = \frac{T_d}{\frac{1}{2} \times \rho \times A \times V^2 \times R}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} T_d &= \text{torsi dinamis (Nm)} \\ &= 0,0603 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Sehingga:

$$CM = \frac{0,0603 \text{ Nm}}{\frac{1}{2} \times 1,17 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,092 \text{ m}^2 \times (5^2) \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,1545 \text{ m}} = 0,2904$$

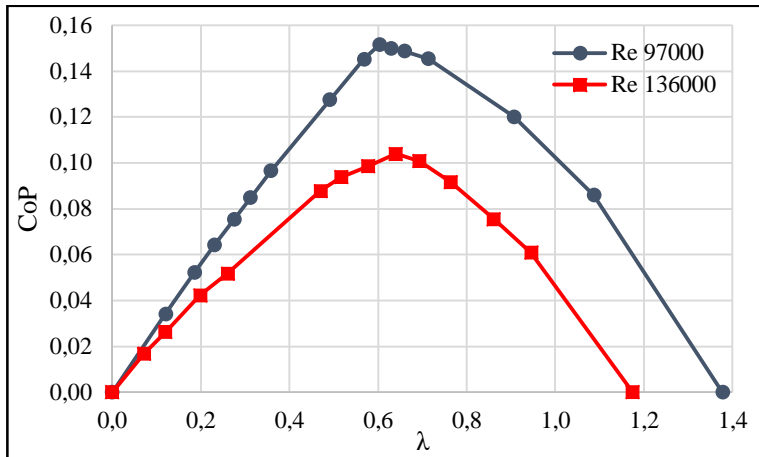
4.2. Analisa Kinerja Turbin Savonius Tanpa Silinder Pengganggu

Analisa kinerja turbin Savonius tanpa penambahan silinder pengganggu bertujuan untuk mengetahui kondisi awal turbin Savonius yang akan diuji. Hasil data yang didapatkan kemudian dibandingkan dengan hasil kinerja turbin Savonius ketika diberi silinder pengganggu. Pengujian dilakukan pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$. Data yang diperoleh antara lain *coefficient of power* (CoP_0) fungsi *tip speed ratio* (λ), *coefficient of moment* (CM_0) fungsi *tip speed ratio* (λ), serta torsi statis (TS_0) fungsi sudut (θ) yang akan ditampilkan dalam bentuk grafik.

4.2.1 Analisa Nilai Coefficient of Power Tanpa Silinder Pengganggu (CoP_0) Fungsi Tip Speed Ratio (λ)

Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan, didapatkan data berupa nilai *coefficient of power* (CoP_0) terhadap *tip speed ratio* (λ) pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$. Daya *output* yang dihasilkan oleh turbin Savonius didapatkan dari perkalian antara nilai torsi dinamis dan kecepatan sudut turbin. Nilai torsi dinamis didapatkan dari *brake dynamometer* dengan menghitung nilai selisih antara masa pemberat yang diberikan dan nilai yang terbaca pada neraca pegas dikalikan dengan percepatan

gravitasi dan jari-jari poros yang terkena benang. Penambahan variasi massa dilakukan guna mendapatkan variasi nilai *tip speed ratio* (λ) dari turbin Savonius. Grafik dari nilai *coefficient of power* (CoP_0) terhadap *tip speed ratio* (λ) pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$ ditunjukkan oleh gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Grafik *Coefficient of Power* Turbin Savonius Tanpa Silinder Pengganggu (CoP_0) Terhadap *Tip Speed Ratio* (λ)

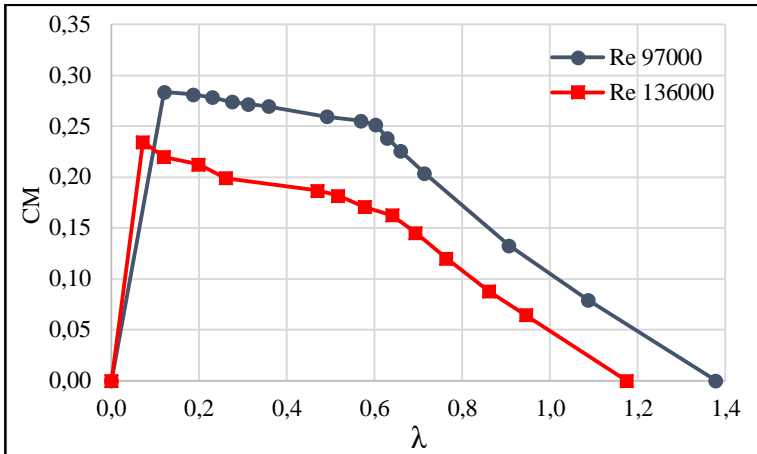
Pada gambar 4.1 dapat dilihat bahwa grafik tersebut memiliki *trendline* dengan bentuk parabolik. Nilai *coefficient of power* mengalami kenaikan hingga titik terpuncak kemudian akan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya nilai *tip speed ratio* (λ). Pada titik puncak memiliki nilai *coefficient of power* yang maksimum dengan *tip speed ratio* yang optimum. Untuk bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ mempunyai nilai *coefficient of power* maksimum sebesar 0,1515 pada $\lambda = 0,591$. Sedangkan pada

bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$ mempunyai nilai *coefficient of power* maksimum sebesar 0,1040 pada $\lambda = 0,628$.

Dari hasil tersebut didapatkan bahwa peningkatan bilangan Reynolds tidak berbanding lurus dengan peningkatan nilai *coefficient of power* yang dihasilkan. Nilai *coefficient of power* maksimum berada pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$. Diduga bahwa nilai *coefficient of power* pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ berada pada titik optimum dimana memiliki nilai *coefficient of power* maksimum, sehingga kinerja yang dihasilkan oleh turbin Savonius memiliki nilai lebih besar dibandingkan bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$. Hal ini dikarenakan kecepatan angin yang sangat tinggi akan membuat putaran turbin berputar sangat cepat dan turbin akan membentuk seperti *solid wall*, dimana fluida tidak dapat mencapai sudu turbin sehingga daya turbin yang dihasilkan akan semakin rendah.

4.2.2 Analisa Nilai Coefficient of Moment Tanpa Silinder Pengganggu (CM_0) Fungsi Tip Speed Ratio (λ)

Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan, didapatkan data berupa nilai *coefficient of moment* terhadap *tip speed ratio* (λ) pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$. Variasi *tip speed ratio* (λ) didapatkan dengan cara menambahkan massa pemberat pada *brake dynamometer*, sedangkan nilai torsi dinamis didapatkan dengan menghitung selisih nilai yang terbaca pada neraca pegas dengan massa pemberat yang diberikan dikalikan dengan percepatan gravitasi dan jari-jari poros yang dikenai benang. Grafik nilai *coefficient of moment* terhadap *tip speed ratio* (λ) turbin Savonius tanpa silinder pengganggu pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$ dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Grafik *Coefficient of Moment* Turbin Savonius Tanpa Silinder Pengganggu (CM_0) Terhadap *Tip Speed Ratio* (λ)

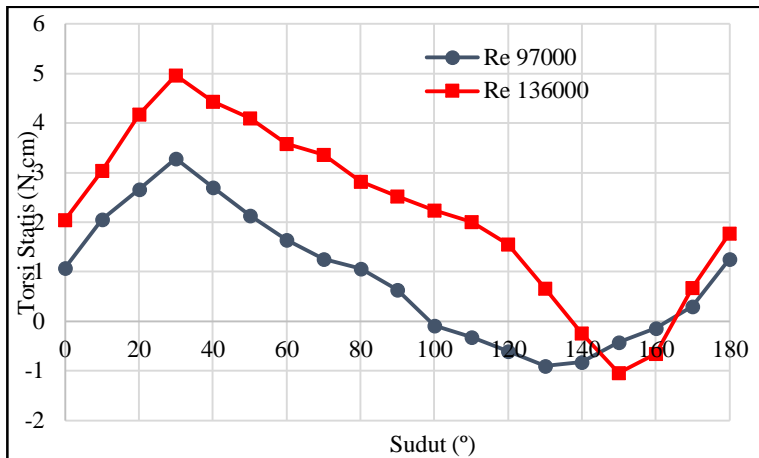
Pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa *trendline* naik sampai titik maksimum dari *coefficient of moment* pada *tip speed ratio* (λ) yang optimum, selanjutnya mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya nilai *tip speed ratio* (λ). Didapatkan nilai maksimum *coefficient of moment* pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ sebesar 0,2837 pada $\lambda = 0,121$ dan bernilai 0,2345 pada $\lambda = 0,072$ untuk bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$. Torsi dinamis maksimum di setiap bilangan Reynolds didapatkan saat memiliki nilai pembebanan yang maksimal, akibatnya pada posisi tersebut nilai *coefficient of moment* (CM) yang dihasilkan pun maksimum. Dari grafik dapat dilihat bahwa untuk bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan $13,6 \times 10^4$.

Dapat dilihat pada *trendline* dari grafik yang ditunjukkan bahwa nilai *coefficient of moment* (CM_0) turun seiring dengan bertambahnya nilai *tip speed ratio* (λ). Hal ini disebabkan karena

semakin besar nilai *tip speed ratio* maka semakin kecil massa yang diberikan pada *brakedynamometer* dan akan berpengaruh pada nilai s yang terbaca pada neraca pegas. Nilai s akan mempengaruhi nilai torsi dinamis dari turbin saat berputar. Semakin besar massa pemberat maka semakin besar nilai s pada neraca pegas. Torsi dinamis berbanding lurus dengan selisih dari nilai yang terbaca pada neraca pegas dan massa pemberat. Dimana torsi dinamis berbanding lurus dengan nilai CM_0 , semakin kecil massa pemberat maka semakin meningkat nilai dari *tip speed ratio* (λ). Sehingga hal ini membuat *trendline* dari grafik CM_0 ini turun bersamaan dengan naiknya nilai *tip speed ratio* (λ).

4.2.3 Analisa Nilai Torsi Statis Tanpa Silinder Pengganggu (TS_0) Fungsi Sudut (θ)

Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan, didapatkan data berupa torsi statis terhadap sudut (θ) pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$. Data torsi statis didapatkan dari alat ukur *torque meter*. Pengambilan data dilakukan pada saat turbin Savonius dalam kondisi tidak berputar yaitu dengan cara dicekam pada poros bagian atas turbin Savonius dan kemudian dialiri udara pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$. Torsi statis yang diukur pada penelitian ini yaitu pada saat *blade* dari turbin Savonius berada pada posisi sudut 0° searah dengan aliran udara sampai pada posisi sudut 180° dengan kenaikan 10° . Grafik torsi statis turbin Savonius tanpa silinder pengganggu (TS_0) fungsi sudut (θ) pada masing-masing bilangan Reynolds dapat dilihat pada gambar 4.3



Gambar 4. 3 Grafik Torsi Statis Turbin Savonius Tanpa Silinder Pengganggu (TS_0) Terhadap Sudut (θ)

Pada gambar 4.3 dapat dilihat bahwa *trendline* pada awalnya naik sampai sudut 30° kemudian mengalami penurunan sampai sudut tertentu dan kembali naik. Pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$ torsi statis maksimum terjadi pada sudut 30° yaitu sebesar $3,28 \text{ N.cm}$ dan $4,96 \text{ N.cm}$. Sedangkan pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ torsi statis minimum terletak pada sudut 130° sebesar $-0,9 \text{ N.cm}$ dan bernilai $-1,04 \text{ N.cm}$ pada sudut 150° dengan bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$. Data perbandingan grafik torsi statis diatas memiliki sudut turbin maksimum yang sama yaitu pada sudut 30° dan sedangkan terdapat perbedaan pada sudut turbin minimum yaitu pada sudut 130° untuk bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan sudut 150° pada bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$.

Peningkatan nilai torsi statis diakibatkan oleh meningkatnya bilangan Reynolds yang berbanding lurus dengan peningkatan kecepatan aliran udara. Peningkatan kecepatan aliran

udara yang melewati turbin Savonius menyebabkan selisih gaya *drag* pada *blade* turbin Savonius meningkat. Semakin besar nilai selisih gaya *drag* antara sisi *returning blade* dan *advancing blade* akan menyebabkan nilai torsi statis turbin Savonius meningkat. Luas penampang *advancing blade* yang dialiri udara juga berpengaruh terhadap selisih gaya *drag*. Pada torsi maksimum, *self starting* pada turbin Savonius sangat baik. Turbin memiliki *self starting* ketika nilai torsi statisnya positif, dalam pengujian ini *self starting* paling baik ketika berada pada sudut 30° . Sedangkan turbin dikatakan tidak memiliki *self starting* ketika torsi statisnya bernilai negatif, dalam pengujian yaitu pada sudut 100° hingga 160° untuk bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ serta terletak pada sudut 140° hingga 160° untuk bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$. Hal ini dapat terjadi karena luas penampang *returning blade* yang dialiri udara lebih besar dibandingkan dengan luas penampang *advancing blade* sehingga menyebabkan selisih gaya *drag* antara kedua *blades* akan semakin kecil yang mengakibatkan mengecilnya nilai torsi statis.

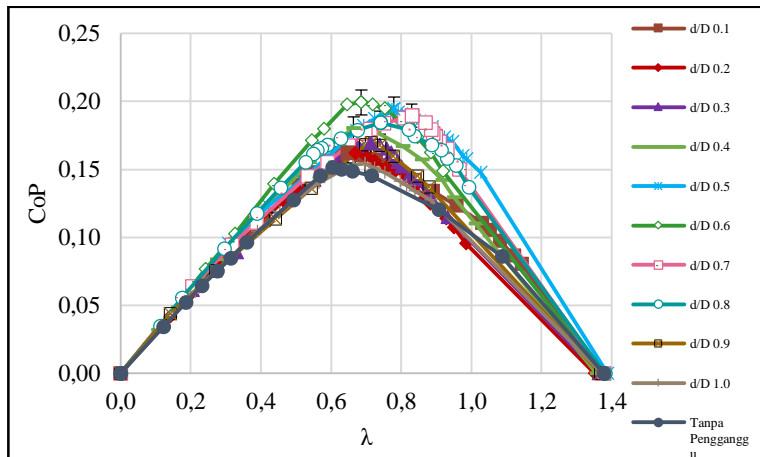
4.3. Analisa Kinerja Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu

Analisa kinerja turbin Savonius dengan penambahan silinder pengganggu, dimana jarak pusat silinder pengganggu terhadap arah aliran angin dengan diameter sudu turbin $S/D = 2,8$. Variasi ukuran diameter silinder pengganggu adalah $d/D = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0$ dan tinggi dari silinder pengganggu 500 mm. Pengujian dilakukan pada posisi tegak lurus dengan datangnya aliran udara dengan diameter sudu turbin $(y/D) = 0,5$ serta bilangan Reynolds yang digunakan adalah $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$. Data yang akan dianalisa meliputi nilai *coefficient of power* (CoP) sebagai fungsi *tip speed ratio* (λ), *coefficient of power* maksimum turbin Savonius dengan dan tanpa silinder pengganggu

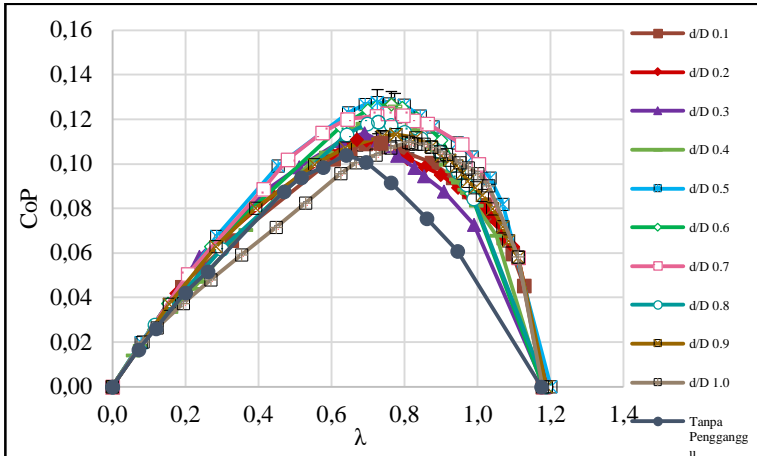
(CoP_{max}/CoP_{0max}) fungsi variasi d/D , *coefficient of moment* (CM) sebagai fungsi *tip speed ratio* (λ) dan torsi statis (TS) sebagai fungsi sudut (θ) yang akan ditampilkan dalam bentuk grafik.

4.3.1 Analisa Nilai Coefficient of Power (CoP) Fungsi Tip Speed Ratio (λ) Pada Bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$

Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan, didapatkan data berupa nilai torsi dinamis yang kemudian diolah menjadi grafik *coefficient of power* (CoP) terhadap *tip speed ratio* (λ), menggunakan variasi diameter silinder pengganggu dengan ratio $d/D = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0$ pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$. Data hasil pengukuran dapat dilihat pada gambar 4.4.



(a)



(b)

Gambar 4. 4 Grafik Perbandingan *Coefficient of Power* Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu (CoP) dan Tanpa Silinder Pengganggu (CoP_0) Terhadap *Tip Speed Ratio* (λ) pada $S/D = 2,8$ untuk Bilangan Reynolds (a) $9,7 \times 10^4$ dan (b) $13,6 \times 10^4$

Pada gambar 4.4 (a) dan (b) dapat dilihat bahwa grafik tersebut memiliki *trendline* dengan bentuk parabolik. Nilai *coefficient of power* mengalami kenaikan diawal hingga titik terpuncak kemudian akan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya nilai *tip speed ratio* (λ). Pada titik puncak memiliki nilai *coefficient of power* yang maksimum dengan *tip speed ratio* yang optimum. Pada ukuran d/D yang berbeda nilai *coefficient of power* maksimal terletak pada *tip speed ratio* yang berbeda, hal ini disebabkan karena pada d/D yang berbeda memiliki nilai putaran awal turbin yang berbeda sehingga berpengaruh terhadap nilai *tip speed ratio*. Selain itu *tip speed ratio* yang berbeda juga disebabkan oleh nilai putaran turbin pada saat pembebanan yang sama menunjukkan angka yang berbeda, hal ini disebabkan karena pada

variasi d/D kemampuan turbin menerima beban juga berbeda sehingga menyebabkan nilai putaran pada CoP maksimum juga berbeda. Berikut merupakan data nilai *coefficient of power* maksimum untuk setiap variasi d/D pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$.

Tabel 4. 1 Perbandingan Nilai *Coefficient of Power* Turbin Savonius Dengan dan Tanpa Silinder Pengganggu

d/D	Tanpa Silinder Pengganggu				Dengan Silinder Pengganggu				% Kenaikan	
	Re 97000		Re 136000		Re 97000		Re 136000		Re 97000	Re 136000
	CoP ₀ max	λ	CoP ₀ max	λ	CoPmax	λ	CoPmax	λ		
0.1	15.15%	0.60	10.40%	0.64	16.02%	0.91	10.95%	0.74	5.72%	5.30%
0.2					16.18%	0.67	11.08%	0.67	6.81%	6.56%
0.3					16.93%	0.71	11.39%	0.69	11.74%	9.53%
0.4					17.09%	0.1	12.58%	0.77	12.82%	20.98%
0.5					19.42%	0.78	12.75%	0.73	28.18%	22.58%
0.6					19.93%	0.69	12.66%	0.76	31.53%	21.75%
0.7					18.95%	0.83	12.26%	0.75	25.08%	17.92%
0.8					18.43%	0.74	11.89%	0.73	21.65%	14.34%
0.9					16.94%	0.71	11.31%	0.78	11.78%	8.77%
1.0					15.41%	0.70	10.99%	1.17	1.69%	5.63%

Pada tabel 4.1 ditunjukkan bahwa turbin Savonius dengan penambahan silinder pengganggu memiliki nilai *coefficient of power* yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa penambahan silinder pengganggu pada seluruh variasi d/D . Hal ini menunjukkan bahwa penambahan silinder pengganggu efektif meningkatkan nilai *coefficient of power*. Pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$, kenaikan tertinggi ditunjukkan pada d/D 0,6 yaitu sebesar 31,53%, dan untuk kenaikan terendah ditunjukkan pada d/D 1,0 yaitu sebesar 1,69%. Sedangkan pada bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$ kenaikan tertinggi ditunjukkan pada d/D 0,5 yaitu sebesar 22,58%

dan untuk kenaikan terendah ditunjukkan pada d/D 0,1 yaitu sebesar 5,3%.

Dengan adanya silinder pengganggu akan menyebabkan *boundary layer* pada *returning blade* terganggu dan mempercepat transisi aliran dari laminar menjadi turbulen, sehingga momentum aliran yang digunakan untuk menggerakkan fluida lebih mampu menahan tegangan geser dan *adverse pressure gradient*. Selain itu adanya silinder pengganggu didepan *returning blade* dapat mengakibatkan tekanan pada bagian depan *returning blade* mengalami penurunan sehingga selisih tekanan pada bagian depan dan belakang meningkat. Hal ini mengakibatkan gaya hambat pada *returning blade* mengalami penurunan dan secara otomatis meningkatkan selisih gaya *drag* antara *returning blade* dan *advancing blade*.

Adapun ketidakpastian (*uncertainty*) dari suatu pengukuran pada penelitian ini, yaitu suatu parameter yang menggambarkan sebaran nilai kuantitatif suatu hasil pengukuran dimana nilai *coefficient of power* pada semua variasi memiliki nilai ketidakpastian seperti pada tabel 4.2. Berikut merupakan data ketidakpastian *coefficient of power* maksimum untuk setiap variasi d/D pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$.

Tabel 4. 2 Nilai *Uncertainty Coefficient of Power* (CoP) Pada Bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ Dan $13,6 \times 10^4$

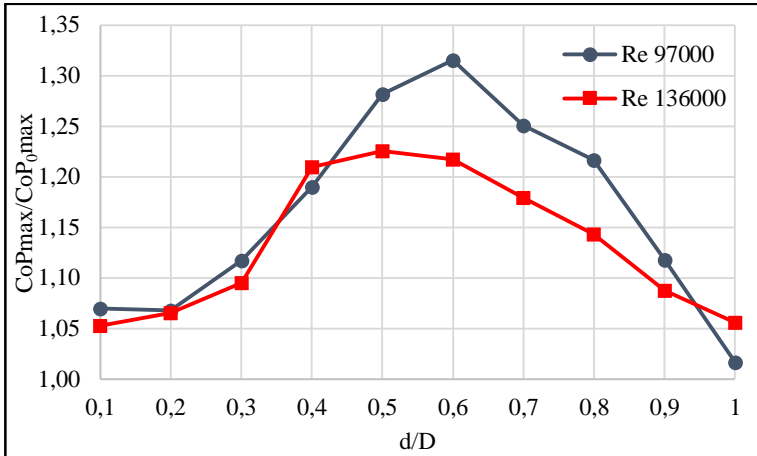
d/D	<i>Uncertainty Coefficient of Power</i>					
	Re 97000			Re 136000		
	CoPmax	Uncertainty	Range	CoPmax	Uncertainty	Range
0.1	16.22%	5.11%	15.39% - 17.05%	10.95%	4.97%	10.41% - 11.50%
0.2	16.18%	5.15%	15.35% - 17.02%	11.08%	4.89%	10.54% - 11.62%
0.3	16.93%	5.17%	16.06% - 17.81%	11.39%	4.89%	10.83% - 11.95%
0.4	18.03%	5.03%	17.12% - 18.94%	12.58%	4.90%	11.96% - 13.19%
0.5	19.42%	5.12%	18.43% - 20.42%	12.75%	4.85%	12.13% - 13.37%
0.6	19.93%	4.97%	18.94% - 20.92%	12.66%	4.89%	12.04% - 13.28%
0.7	18.95%	5.22%	17.96% - 19.94%	12.26%	4.90%	11.66% - 12.87%

0.8	18.43%	5.12%	17.49% - 19.38%	11.89%	4.90%	11.31% - 12.47%
0.9	16.94%	5.18%	16.06% - 17.81%	11.31%	4.99%	10.75% - 11.88%
1.0	15.41%	5.26%	14.60% - 16.22%	10.99%	5.05%	10.43% - 11.54%

Dapat dilihat pada tabel 4.2 yang menunjukkan bahwa terdapat beberapa variasi ukuran d/D yang memiliki nilai *coefficient of power* maksimum (CoPmax) pada satu rentang nilai *uncertainty*. Hal ini disebabkan karena pada beberapa variasi ukuran d/D memiliki nilai *coefficient of power* maksimum (CoPmax) yang hampir serupa, sehingga ketika dibandingkan dengan nilai dari *uncertainty* tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Adapun perbedaan nilai *coefficient of power* maksimum (CoPmax) yang signifikan pada penelitian dengan bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ yaitu pada ukuran d/D 0,1; 0,6; dan 1,0. Sedangkan untuk bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$ perbedaan nilai *coefficient of power* maksimum (CoPmax) yang signifikan ditunjukkan pada variasi ukuran d/D 0,2; 0,5 dan 1,0.

4.3.2 Analisa Nilai Coefficient of Power Maximum Turbin Savonius Dengan dan Tanpa Siliner Pengganggu (CoPmax/CoP₀max) Terhadap Variasi d/D Pada Bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$

Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan, didapatkan data *coefficient of power* maksimum antara turbin Savonius dengan dan tanpa penambahan silinder pengganggu terhadap variasi d/D pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$. Data hasil pengukuran dapat dilihat pada gambar 4.5.



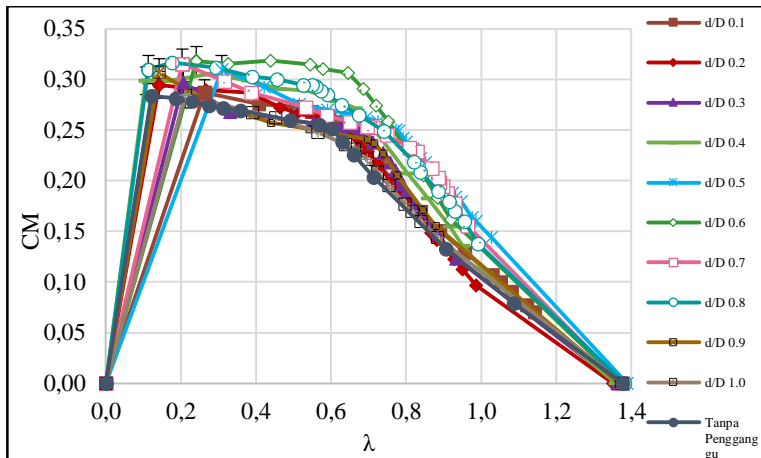
Gambar 4. 5 Grafik Perbandingan *Coefficient of Power Maximal* Turbin Savonius Dengan dan Tanpa Silinder Pengganggu ($CoP_{max}/CoP_{0,max}$) Terhadap Variasi d/D pada $S/D = 2,8$ untuk Bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$

Pada gambar 4.5 dapat dilihat bahwa kedua grafik diatas memiliki *trendline* dengan bentuk parabolik. Dimana nilai $CoP_{max}/CoP_{0,max}$ akan naik hingga titik tertentu dan kemudian turun seiring dengan bertambahnya ukuran diameter silinder pengganggu. Didapatkan bahwa penambahan silinder pengganggu pada kedua bilangan Reynolds efektif meningkatkan performa turbin Savonius dikarenakan nilai $CoP_{max}/CoP_{0,max} > 1$ pada seluruh variasi d/D sehingga dapat dikatakan bahwa variasi ukuran diameter silinder pengganggu mempengaruhi performa dari turbin Savonius. Pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ nilai $CoP_{max}/CoP_{0,max}$ tertinggi terletak pada $d/D = 0,6$ yaitu sebesar 1,315 sedangkan pada bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$ nilai $CoP_{max}/CoP_{0,max}$ tertinggi berada pada $d/D = 0,5$ yaitu sebesar 1,2258. Hal ini menunjukkan

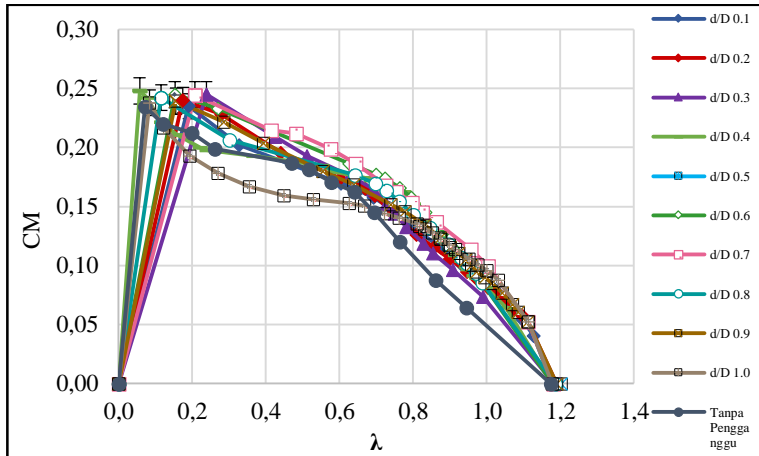
bahwa titik tersebut adalah paling efektif untuk mengganggu *boundary layer* pada *returning blade* sehingga transisi aliran juga terjadi semakin cepat.

4.3.3 Analisa Nilai Coefficient of Moment (CM) Fungsi Tip Speed Ratio (λ) Pada Bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$

Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan, didapatkan data berupa nilai *coefficient of moment* terhadap tip speed ratio (λ) pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$ dengan variasi ukuran silinder pengganggu dengan ratio $d/D = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0$. Data hasil pengukuran dapat dilihat pada gambar 4.6.



(a)



(b)

Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan *Coefficient of Moment* Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu (CM) dan Tanpa Silinder Pengganggu (CM_0) Terhadap *Tip Speed Ratio* (λ) pada $S/D = 2,8$ untuk Bilangan Reynolds (a) $9,7 \times 10^4$ dan (b) $13,6 \times 10^4$

Dapat dilihat pada gambar 4.6 (a) dan (b) bahwa grafik memiliki *trendline* mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya nilai *tip speed ratio* (λ). Torsi dinamis berbanding lurus dengan selisih dari nilai yang terbaca pada neraca pegas dan massa pemberat. Dimana torsi dinamis berbanding lurus dengan nilai CM, semakin kecil massa pemberat maka semakin meningkat nilai dari *tip speed ratio* (λ). Sehingga hal ini membuat *trendline* dari grafik CM ini turun bersamaan dengan naiknya nilai *tip speed ratio* (λ). Berikut merupakan data *coefficient of moment* maksimum untuk setiap variasi d/D pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$.

Tabel 4. 3 Perbandingan Nilai *Coefficient of Moment* (CM) Turbin Savonius Dengan dan Tanpa Silinder Pengganggu

d/D	Tanpa Silinder Pengganggu				Dengan Silinder Pengganggu				% Kenaikan	
	Re 97000		Re 136000		Re 97000		Re 136000		Re 97000	Re 136000
	CM ₀ max	λ	CM ₀ max	λ	CM _{max}	λ	CM _{max}	λ		
0.1	28.37%	0.12	23.45%	0.07	28.66%	0.26	23.49%	0.19	1.02%	0.14%
0.2					29.45%	0.14	23.98%	0.17	3.80%	2.26%
0.3					29.68%	0.21	24.48%	0.24	4.59%	4.38%
0.4					29.88%	0.11	24.78%	0.06	5.30%	5.67%
0.5					30.96%	0.31	25.12%	0.08	9.13%	7.08%
0.6					31.79%	0.24	24.48%	0.15	12.04%	4.38%
0.7					31.53%	0.20	24.45%	0.21	11.12%	4.25%
0.8					30.96%	0.11	24.21%	0.12	9.13%	3.23%
0.9					30.65%	0.14	23.92%	0.16	8.02%	2.00%
1.0					28.46%	0.21	23.76%	0.08	0.29%	1.30%

Dapat dilihat pada tabel 4.3 nilai *coefficient of moment* tanpa silinder pengganggu (CM₀) bernilai 0,2837 pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan bernilai 0,2345 pada bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$. Kenaikan nilai *coefficient of moment* tertinggi dan terendah terletak pada ukuran d/D = 0,6 yaitu sebesar 12,04% serta 0,29% pada d/D = 1,0 pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$. Sedangkan kenaikan nilai *coefficient of moment* tertinggi dan terendah pada bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$ terjadi pada ukuran d/D = 0,5 yaitu sebesar 7,08% serta pada d/D = 0,1 yaitu 0,14%.

Pada kedua bilangan Reynolds, penambahan silinder pengganggu efektif meningkatkan nilai *coefficient of moment*. Hal ini disebabkan dengan adanya silinder pengganggu akan menyebabkan *boundary layer* pada *returning blade* terganggu dan mempercepat transisi aliran dari laminar menjadi turbulen, sehingga momentum aliran yang digunakan untuk menggerakkan

fluida lebih mampu menahan tegangan geser dan *adverse pressure gradient*. Selain itu adanya silinder pengganggu didepan *returning blade* dapat mengakibatkan tekanan pada bagian depan *returning blade* mengalami penurunan. Hal ini mengakibatkan gaya *drag* pada *returning blade* mengalami penurunan dan secara otomatis meningkatkan selisih gaya *drag* antara *returning blade* dan *advancing blade*.

Adapun ketidakpastian (*uncertainty*) dari suatu pengukuran pada penelitian ini, dimana nilai *coefficient of moment* pada semua variasi memiliki nilai ketidakpastian seperti pada tabel 4.3. Berikut merupakan data ketidakpastian *coefficient of moment* maksimum (CoPmax) untuk setiap variasi d/D pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$.

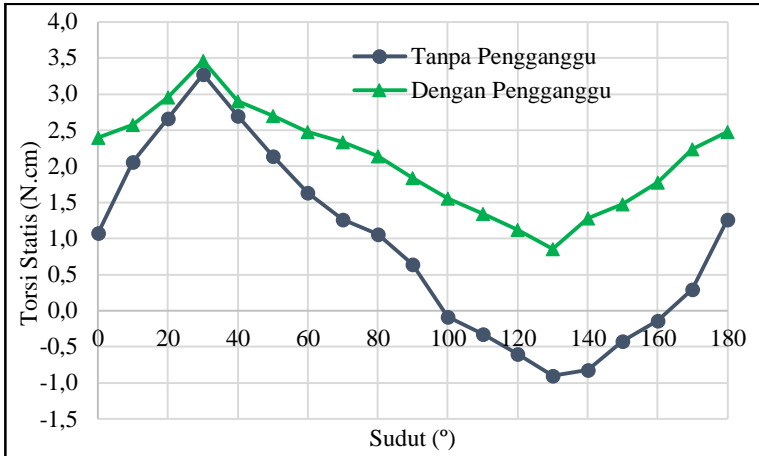
Tabel 4. 4 Nilai *Uncertainty Coefficient of Momet (CM)* Pada Bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ Dan $13,6 \times 10^4$

d/D	<i>Uncertainty Coefficient of Momet</i>					
	Re 97000			Re 136000		
	CMmax	Uncertainty	Range	CMmax	Uncertainty	Range
0.1	28.66%	5.13%	27.19% - 30.13%	23.49%	4.99%	27.49% - 29.83%
0.2	29.45%	5.17%	27.93% - 30.98%	23.98%	4.91%	28.28% - 30.63%
0.3	29.68%	5.19%	28.14% - 31.12%	24.48%	4.91%	28.48% - 30.88%
0.4	29.88%	5.06%	28.37% - 31.39%	24.78%	4.93%	28.65% - 31.10%
0.5	30.96%	5.14%	29.37% - 32.55%	25.12%	4.88%	29.74% - 32.19%
0.6	31.79%	4.99%	30.20% - 33.38%	24.48%	4.91%	30.59% - 32.99%
0.7	31.53%	5.24%	29.88% - 33.18%	24.45%	4.92%	30.33% -32.73%
0.8	30.96%	5.14%	29.37% - 32.56%	24.21%	4.92%	29.77% - 32.15%
0.9	30.65%	5.20%	29.06% - 32.24%	23.92%	5.01%	29.45% - 31.85%
1.0	28.46%	5.28%	26.95% - 29.96%	23.76%	5.08%	27.25% - 29.66%

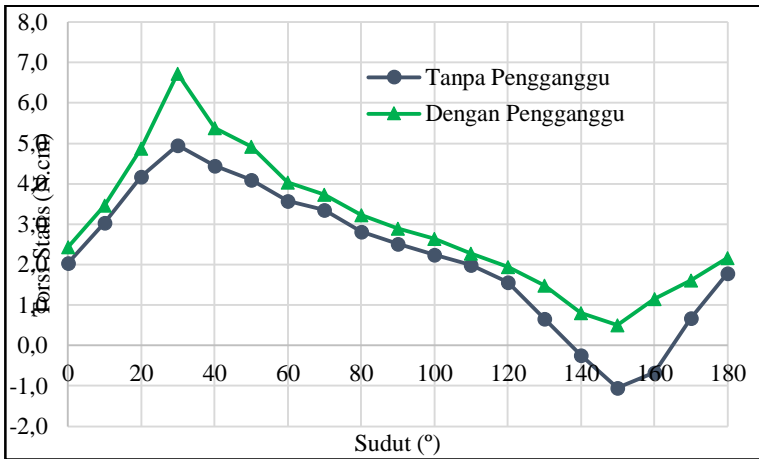
Pada tabel 4.4 dapat dilihat bahwa terdapat beberapa variasi ukuran d/D yang memiliki nilai *coefficient of moment* maksimum (CMmax) pada satu rentang nilai *uncertainty*. Hal ini disebabkan karena pada beberapa variasi ukuran d/D memiliki nilai *coefficient of moment* maksimum (CMmax) yang hampir serupa, sehingga ketika dibandingkan dengan nilai dari *uncertainty* tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Adapun perbedaan nilai *coefficient of moment* maksimum (CMmax) yang signifikan pada penelitian dengan bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ yaitu pada ukuran d/D 0,1; 0,6; dan 1,0. Sedangkan untuk bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$ perbedaan nilai *coefficient of moment* maksimum (CMmax) yang signifikan ditunjukkan pada variasi ukuran d/D 0,2; 0,5 dan 1,0.

4.3.4 Analisa Nilai Torsi Statis (TS) Fungsi Sudut (θ) Pada Bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$

Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan, didapatkan data berupa torsi statis terhadap sudut (θ) pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$. Pengambilan data dilakukan pada saat turbin Savonius dalam kondisi tidak berputar yaitu dengan cara dicekam pada poros bagian atas turbin Savonius dan kemudian dialiri udara pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$. Torsi statis yang diukur pada penelitian ini yaitu pada saat *blade* dari turbin Savonius berada pada posisi sudut 0° searah dengan aliran udara sampai pada posisi sudut 180° dengan kenaikan 10° . Grafik torsi statis (TS) turbin Savonius terhadap sudut (θ) pada masing-masing bilangan Reynolds dapat dilihat pada gambar 4.7.



(a)



(b)

Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu (TS) dan Tanpa Silinder Pengganggu (TS₀) Terhadap Sudut (θ) pada $S/D = 2,8$ untuk Bilangan Reynolds (a) $9,7 \times 10^4$ dan (b) $13,6 \times 10^4$

Pada gambar 4.7 (a) dan (b) dapat dilihat *trendline* membentuk grafik sinusoidal. Dimana nilai torsi statis pada awalnya naik sampai sudut tertentu kemudian mengalami penurunan sampai sudut tertentu pula dan kembali naik. Pada grafik torsi statis tanpa silinder pengganggu (TS_0) dengan bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dapat dilihat bahwa grafik naik hingga sudut 30° dengan nilai torsi statis maksimum sebesar 3,28 N.cm, lalu turun hingga sudut 130° dengan nilai torsi statis minimum -0,9 N.cm, lalu mengalami peningkatan hingga sudut 180° . Pada grafik torsi statis dengan silinder pengganggu (TS) dapat dilihat bahwa grafik naik hingga sudut 30° dengan nilai torsi statis maksimum sebesar 3,46 N.cm, lalu turun hingga sudut 130° dengan nilai torsi statis minimum 0,86 N.cm, lalu mengalami peningkatan hingga sudut 180° . Sedangkan pada bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$, grafik torsi statis tanpa silinder pengganggu (TS_0) mengalami kenaikan hingga sudut 30° dengan nilai torsi statis maksimum sebesar 4,96 N.cm, lalu turun hingga sudut 150° dengan nilai torsi statis minimum -1,04 N.cm, lalu mengalami peningkatan hingga sudut 180° . Pada grafik torsi statis dengan silinder pengganggu (TS) dapat dilihat bahwa grafik naik hingga sudut 30° dengan nilai torsi statis maksimum sebesar 6,72 N.cm, lalu turun hingga sudut 150° dengan nilai torsi statis minimum 0,5 N.cm, lalu mengalami peningkatan hingga sudut 180° .

Nilai torsi statis pada turbin Savonius tanpa penambahan silinder pengganggu memiliki nilai yang negatif, artinya pada posisi tersebut turbin tidak memiliki *self starting*. Sedangkan turbin Savonius dengan silinder pengganggu memiliki nilai torsi statis yang selalu positif. Hal ini menandakan bahwa turbin Savonius dengan silinder pengganggu memiliki *self starting* pada semua posisi angular sudu dalam pengujian. Nilai torsi statis dipengaruhi oleh arah datangnya angin sehingga dengan adanya silinder

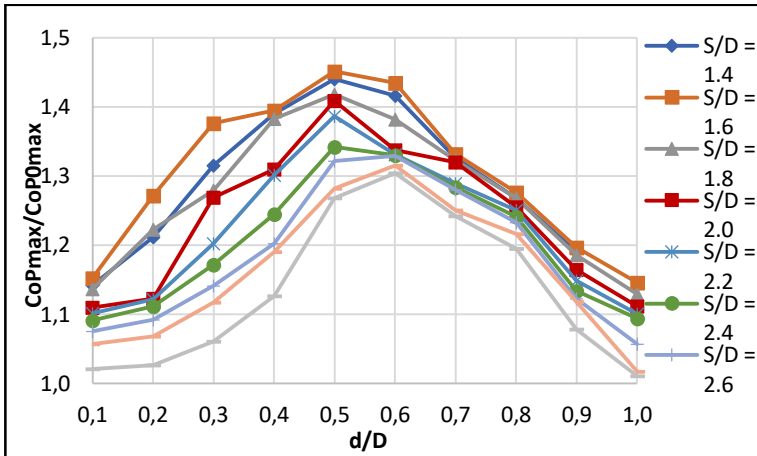
pengganggu didepan *returning blade* membuat turbin dapat berputar pada semua posisi angular sudu.

4.4. Analisa Nilai CoP_{max}/CoP_0_{max} Terhadap Penempatan Silinder Pengganggu

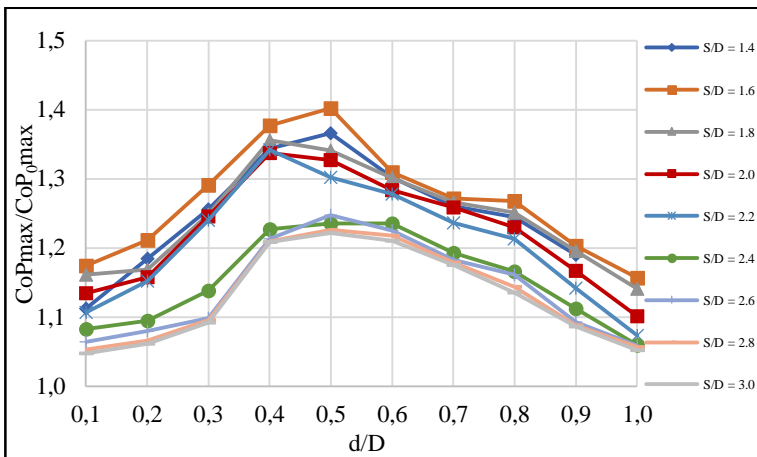
Analisa kinerja turbin Savonius dengan penambahan silinder pengganggu dengan variasi S/D yang dilakukan oleh delapan mahasiswa yaitu $S/D = 1,6$ oleh Muhammad Rizky Ramadhan (2020), $S/D = 1,8$ oleh Markus Sarsanto (2020), $S/D = 2,0$ oleh Muhammad Ghiyats Humam (2020), $S/D = 2,2$ oleh Lazuardhi Rahim Yamin (2020), $S/D = 2,4$ oleh Prabasworo Drestanto (2020), $S/D = 2,6$ oleh Muhammad Ardy Makarim (2020), $S/D = 2,8$ oleh Hilda Mailil Haq (2020), dan $S/D = 3,0$ oleh Asri Melati Wijayanti (2020). Variasi ukuran diameter silinder pengganggu adalah $0,1 \leq d/D \leq 1,0$ dan tinggi dari silinder pengganggu 500 mm. Pengujian dilakukan pada posisi tegak lurus dengan datangnya aliran udara dengan diameter sudu turbin (y/D) = 0,5 serta bilangan Reynolds yang digunakan adalah $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$. Data yang dianalisa adalah nilai *coefficient of power* maksimal turbin dengan dan tanpa silinder pengganggu (CoP_{max}/CoP_0_{max}) sebagai fungsi variasi jarak S/D dan ukuran d/D yang akan ditampilkan dalam bentuk grafik.

4.4.1. Analisa Nilai CoP_{max}/CoP_0_{max} Terhadap Variasi d/D

Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan, didapatkan data berupa nilai (CoP_{max}/CoP_0_{max}) terhadap variasi d/D pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$. Data hasil pengukuran dapat dilihat pada gambar 4.8.



(a)



(b)

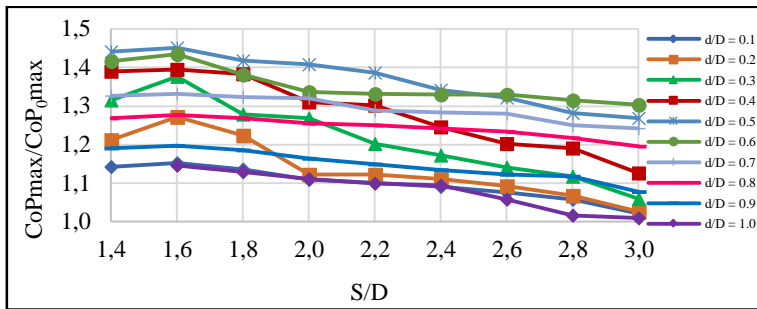
Gambar 4. 8 Grafik Perbandingan *Coefficient of Power Maximal* Turbin Savonius Dengan dan Tanpa Silinder Pengganggu (CoP_{max}/CoP_{0max}) Terhadap Variasi d/D pada S/D 1,4 sampai dengan 3,0 untuk Bilangan Reynolds (a) $9,7 \times 10^4$ dan (b) $13,6 \times 10^4$

Berdasarkan gambar 4.8 (a) dan (b) dapat dilihat bahwa grafik tersebut memiliki *trendline* berupa parabolik. Dimana nilai *coefficient of power maximal* naik sampai pada titik terpuncak yang memiliki nilai maksimum pada d/D optimum, selanjutnya nilai *coefficient of power maximal* turun seiring dengan bertambahnya ukuran d/D . Bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$ memiliki nilai *coefficient of power maximal* (CoP_{max}/CoP_{0max}) yang terletak pada d/D 0,5 untuk jarak $S/D = 1,6$.

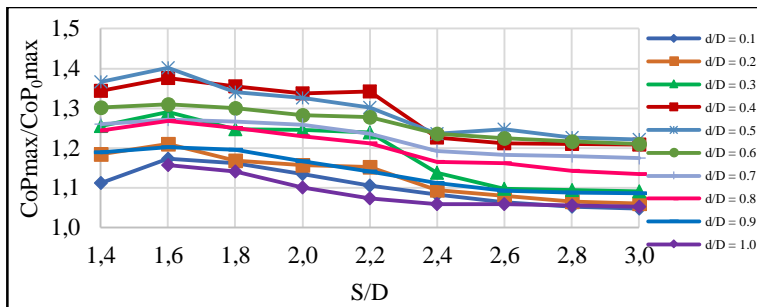
Dapat dilihat bahwa penambahan silinder pengganggu didepan *returning blade* efektif meningkatkan nilai *coefficient of power* yang dibuktikan dengan nilai $CoP_{max}/CoP_{0max} > 1$. Ukuran d/D yang optimum pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dengan jarak S/D 1,6 yaitu 0,5. Hal ini sesuai dengan rumusan masalah pada penelitian ini, dimana jika *ratio* d/D terlalu kecil diperkirakan akan kurang efektif dalam menurunkan tekanan didepan *returning blade* juga dalam menunda titik separasi. Sedangkan apabila *ratio* d/D terlalu besar diperkirakan variasi tersebut dapat menyebabkan defleksi aliran dari silinder pengganggu yang akan menghalangi *free stream* yang menuju *advancing blade*, hal ini dapat menurunkan nilai torsi serta daya.

4.4.2. Analisa Nilai CoP_{max}/CoP_{0max} Terhadap Variasi S/D

Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan, didapatkan data berupa nilai *coefficient of power maximal* (CoP_{max}/CoP_{0max}) terhadap variasi S/D pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$. Data hasil pengukuran dapat dilihat pada gambar 4.9.



(a)



(b)

Gambar 4. 9 Grafik Perbandingan *Coefficient of Power Maximal* Turbin Savonius Dengan dan Tanpa Silinder Pengganggu (CoP_{max}/CoP_{0max}) Terhadap Variasi S/D pada d/D 0,1 sampai dengan 1,0 untuk Bilangan Reynolds (a) $9,7 \times 10^4$ dan (b) $13,6 \times 10^4$

Gambar 4.9 (a) dan (b) merupakan grafik perbandingan nilai (CoP_{max}/CoP_{0max}). Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa *trendline* grafik naik hingga titik optimum yang selanjutnya menurun seiring dengan bertambahnya jarak antara silinder pengganggu terhadap turbin Savonius (S/D). Pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$ nilai CoP_{max}/CoP_{0max} tertinggi pada $S/D = 1,6$. Untuk semua data kenaikan pada tiap variasi posisi S/D dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Perbandingan Nilai (CoPmax/CoP0max) pada jarak $1,4 \leq S/D \leq 3,0$.

RE 97000										
S/D	d/D									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
1.4	1.14	1.21	1.32	1.39	1.44	1.42	1.33	1.27	1.19	-
1.6	1.15	1.27	1.38	1.40	1.45	1.43	1.33	1.28	1.20	1.15
1.8	1.14	1.22	1.28	1.38	1.42	1.38	1.32	1.27	1.19	1.13
2	1.11	1.12	1.27	1.31	1.41	1.34	1.32	1.26	1.16	1.11
2.2	1.10	1.12	1.20	1.30	1.39	1.33	1.29	1.25	1.15	1.10
2.4	1.09	1.11	1.17	1.24	1.34	1.33	1.28	1.24	1.13	1.09
2.6	1.08	1.09	1.14	1.20	1.32	1.33	1.28	1.23	1.12	1.06
2.8	1.06	1.07	1.12	1.19	1.28	1.32	1.25	1.22	1.12	1.02
3	1.02	1.03	1.06	1.13	1.27	1.30	1.24	1.20	1.08	1.01
Re 136000										
S/D	d/D									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
1.4	1.11	1.18	1.26	1.34	1.37	1.30	1.26	1.24	1.08	-
1.6	1.17	1.21	1.29	1.38	1.40	1.31	1.27	1.27	1.20	1.16
1.8	1.16	1.17	1.25	1.36	1.34	1.30	1.27	1.25	1.20	1.14
2	1.13	1.16	1.25	1.34	1.33	1.28	1.26	1.23	1.17	1.10
2.2	1.11	1.15	1.24	1.34	1.30	1.28	1.24	1.21	1.14	1.07
2.4	1.08	1.09	1.14	1.23	1.24	1.24	1.19	1.17	1.11	1.06
2.6	1.06	1.08	1.10	1.21	1.25	1.22	1.18	1.16	1.09	1.06
2.8	1.05	1.07	1.10	1.21	1.23	1.22	1.18	1.14	1.09	1.06
3	1.05	1.06	1.09	1.21	1.22	1.21	1.18	1.14	1.09	1.05

Dari data tersebut dapat dilihat bahwa penambahan silinder pengganggu didepan *returning blade* dengan variasi jarak $1,4 \leq S/D \leq 3,0$ efektif meningkatkan nilai *coefficient of power maximal* pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$. Hal tersebut terjadi karena penambahan silinder pengganggu mampu menghambat aliran udara dan menimbulkan *wake* yang mengubah posisi transisi *returning blade* maju ke depan, sehingga turbulensi terjadi lebih cepat dan menyebabkan *wake* dibelakang *returning blade* menyempit. Dengan demikian, gaya *drag* yang diterima *returning blade* juga semakin kecil. Oleh karena itu, perbedaan gaya *drag* antara kedua sudu akan semakin meningkat dan torsi turbin Savonius juga akan menjadi lebih besar sehingga akan meningkatkan nilai *coefficient of power*.

Pada jarak S/D 1,4 hingga 1,6 memiliki perbandingan nilai (CoPmax/CoP₀max) yang meningkat, sedangkan terjadi penurunan nilai CoPmax/CoP₀max hingga jarak S/D 3,0. Pada penelitian ini jarak S/D yang optimum adalah 1,6 pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ yaitu terjadi kenaikan *Coefficient of Power maximal* sebesar 1,45% dari nilai *Coefficient of Power* tanpa penambahan silinder pengganggu pada ukuran $d/D = 0,5$. Hal ini menunjukkan bahwa pada jarak S/D 1,6 didapatkan paling efektif mengganggu *boundary layer* sehingga terjadi percepatan transisi aliran dari laminar menjadi turbulen yang menyebabkan titik separasi yang dihasilkan pada turbin semakin mundur yang menyebabkan penyempitan daerah *wake* dibandingkan dengan variasi jarak yang lain. Pada jarak $1,8 \leq S/D \leq 3,0$ *shear layer* sudah tidak efektif guna mengganggu *boundary layer returning blade* sehingga titik separasi aliran pada *returning blade* kurang mundur, juga terjadi penurunan selisih gaya *drag* antara bagian depan dan belakang *returning blade* yang mengakibatkan penurunan nilai *Coefficient of Power*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan silinder pengganggu didepan *returning blade* yang dilakukan dengan meletakkan pada posisi $y/D = 0,5$ dengan jarak $S/D = 2,8$ dan variasi ukuran d/D 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0 serta variasi bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemberian silinder pengganggu didepan *returning blade* efektif meningkatkan nilai *coefficient of power* (CoP), *coefficient of moment* (CM) serta torsi statis pada posisi $y/D = 0,5$ dan jarak $S/D = 2,8$ untuk bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ maupun $13,6 \times 10^4$ pada variasi ukuran $0,1 \leq d/D \leq 1,0$.
2. Pemberian silinder pengganggu didepan *returning blade* dengan jarak $S/D = 2,8$ paling efektif meningkatkan nilai *coefficient of power* (CoP) pada posisi $y/D = 0,5$ dengan ukuran $d/D = 0,6$ untuk bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ yaitu dengan kenaikan 31,53% dari nilai *coefficient of power* turbin Savonius tanpa penambahan silinder pengganggu. Sedangkan pada bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$ paling efektif meningkatkan nilai *coefficient of power* (CoP) pada ukuran $d/D = 0,5$ yaitu dengan kenaikan 22,57% dari nilai *coefficient of power* (CoP) turbin Savonius tanpa penambahan silinder pengganggu.
3. Pemberian silinder pengganggu didepan *returning blade* dengan jarak $S/D = 2,8$ pada posisi $y/D = 0,5$ untuk ukuran $d/D = 0,6$ dengan bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ memiliki nilai *tip speed ratio* yang optimum yaitu sebesar 0,69 sedangkan untuk

ukuran $d/D = 0,5$ dengan bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$ nilai *tip speed ratio* yang optimum yaitu 0,73.

4. Pemberian silinder pengganggu didepan *returning blade* paling efektif meningkatkan nilai *coefficient of moment* (CM) pada jarak $S/D = 2,8$ dengan ukuran d/D 0,6 untuk bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ yaitu sebesar 12,04% dan terjadi kenaikan sebesar 7,08% pada bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$.
5. Pemberian silinder pengganggu didepan *returning blade* paling efektif meningkatkan torsi statis pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ maupun $13,6 \times 10^4$, dimana tidak ada torsi bernilai negatif ketika adanya penambahan silinder pengganggu pada posisi $y/D = 0,5$ dengan jarak $S/D = 2,8$ pada variasi ukuran silinder pengganggu $0,1 \leq d/D \leq 1,0$. Hal ini menunjukkan bahwa turbin memiliki *self starting*, sehingga tidak memerlukan bantuan dari eksternal untuk menggerakkan turbin Savonius.
6. Secara garis besar berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan, penambahan silinder pengganggu didepan *returning blade* pada jarak S/D 2,8 paling efektif meningkatkan performa turbin Savonius yang terletak pada posisi $y/D = 0,5$ dengan ukuran silinder pengganggu d/D 0,6 pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$.
7. Dengan variasi jarak $1,4 \leq S/D \leq 3,0$ pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$ memiliki nilai *ratio* ukuran d/D yang optimum yaitu 0,4; 0,5; 0,6.
8. Dari variasi ukuran $0,1 \leq d/D \leq 1,0$ pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan $13,6 \times 10^4$ memiliki nilai *ratio* jarak S/D yang optimum yaitu 1,6 dengan perbandingan nilai CoP_{max}/CoP_{0max} tertinggi.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Pemilihan benang pada *brake dynamometer* yang lebih kuat agar mengurangi terjadinya slip antara poros dan benang.
2. Menggunakan neraca pegas dengan ketelitian yang lebih kecil.
3. Dengan nilai *uncertainty* untuk *coefficient of power* sebesar 4,55% dan *coefficient of moment* sebesar 4,56% maka penelitian yang memiliki perbedaan nilai signifikan terjadi pada pengukuran dengan variasi ukuran d/D 0,1; 0,6; dan 1,0 untuk bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$ serta pada ukuran d/D 0,2; 0,5 dan 1,0 untuk bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$ sehingga tidak perlu melakukan pengukuran pada rentang d/D yang kecil.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Shemmeri, T. (2010). *Wind Turbines*. Ventus Publishing ApS.
- Braithwaite, D., & Invetta, G. (2019). Selepas Bahan Bakar Fossil: Transisi fiskal Indonesia GSI REPORT.
- Darrieus, T., Darrieus, T., & Laboratories, S. N. (2015). Vertical axis wind turbines ©.
- Incropera, et al. (2007). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (Sixth).
- J.Prichard, P., & C.Leylegian, J. (2011). *Fox and McDonald's Introduction to Fluid Mechanics*. John Wiley & Sons, Inc.
- Kaynia, A. M. (2018). Seismic considerations in design of off shore wind turbines. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 124(May 2018), 399–407.
- Lee et al. (2004). Reducing the drag on a circular cylinder by upstream installation of a small control rod, 34, 233–250.
- Mahmoud, N. H. (2012). An experimental study on improvement of Savonius rotor performance. *Alexandria Engineering Journal*, 51(1), 19–25.
<https://doi.org/10.1016/j.aej.2012.07.003>
- Saeed, H. A. H., Elmekawy, A. M. N., & Kassab, S. Z. (2019). Numerical study of improving Savonius turbine power coefficient by various blade shapes. *Alexandria Engineering Journal*.
- Sivamani, S., Premkumar, T. M., Kumar, D. V., Reddy, V. K. K., Reddy, K. D., Reddy, K. D., & Hariram, V. (2019). Experimental data on analysis of a horizontal axis small wind turbine with blade tip power system using permanent magnetic generator. *Data in Brief*, 23, 103716.
<https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.103716>
- Tsutsui, T., & Igarashi, T. (2002). Drag reduction of a circular cylinder in an air-stream, 90, 527–541.
- Zulhan, A., & Yuwono, T. (2018). Studi Eksperimen Pengaruh Silinder Pengganggu terhadap Performa Turbin Angin Savonius.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

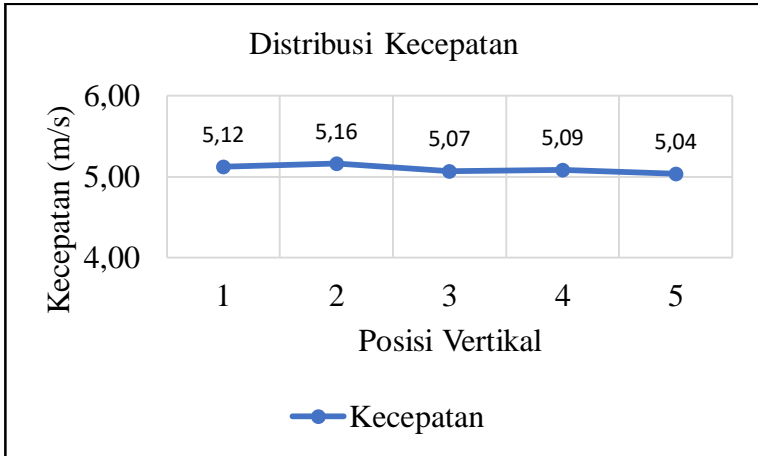
LAMPIRAN

A. Uji Uniformity

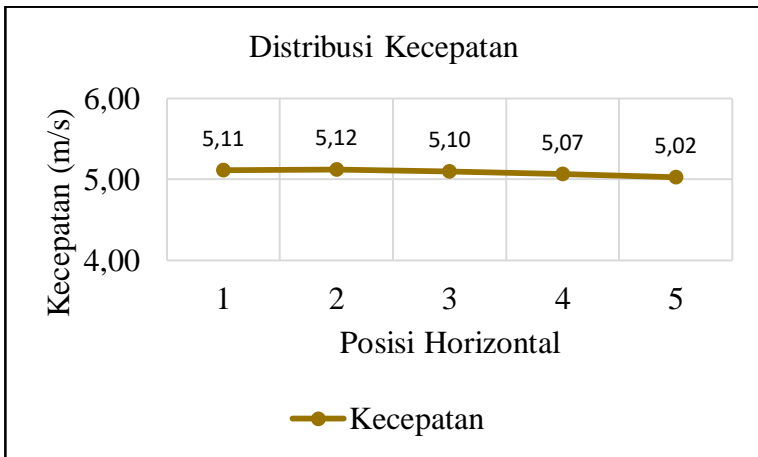
Keseragaman aliran (*uniform flow*) dibutuhkan dalam suatu penelitian agar didapatkan hasil yang ideal. Untuk menghasilkannya aliran yang *uniform* maka perlu diadakannya uji *uniformity* karena pada penelitian ini benda uji diletakkan diluar *wind tunnel* agar penelitian ini berada pada kondisi seperti aslinya. Untuk menentukan keseragaman aliran pada kondisi *external flow* lebih sulit jika dibandingkan dengan kondisi *internal flow*. Hal ini dikarenakan pada kondisi *external flow* memiliki sumber yang tidak hanya 1 titik, melainkan terdiri dari banyak titik. Uji *uniformity* aliran udara dilakukan pada sisi *upstream* turbin Savonius dengan melakukan pengukuran kecepatan aliran fluida udara pada 5 titik vertikal dan 5 titik horizontal.



Gambar A. 1 Posisi Titik Pengujian Uniformity



Gambar A. 2 Grafik Distribusi Kecepatan Vertikal



Gambar A. 3 Grafik Distribusi Kecepatan Horizontal

Tabel A. 1 Data Keseragaman Kecepatan Angin

Data	(Horizontal)					(Vertikal)				
Kec. 5 m/s	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	4.98	5.02	5.14	4.89	4.92	4.94	5.09	5.22	5.14	4.96
2	5.00	5.13	5.30	5.02	4.90	5.05	5.19	4.90	4.99	5.12
3	5.25	5.06	5.03	5.00	5.09	5.18	5.25	5.03	5.25	5.27
4	5.14	5.15	5.14	5.20	4.98	4.99	5.10	5.14	5.05	5.03
5	5.27	5.26	5.04	5.17	5.07	5.27	4.93	5.28	5.18	5.06
6	5.03	5.08	4.92	5.06	5.20	5.25	5.50	4.92	5.10	5.00
7	5.02	5.05	5.09	5.28	5.16	5.23	5.25	4.82	5.20	4.91
8	5.10	5.33	5.00	4.91	4.94	5.17	4.95	5.31	4.90	5.17
9	5.23	5.09	5.21	5.10	4.96	4.86	5.19	5.00	5.16	5.02
10	5.11	5.07	5.08	5.02	5.01	5.29	5.17	5.12	4.93	4.82
Rata-rata tiap titik	5.11	5.12	5.10	5.07	5.02	5.12	5.16	5.07	5.09	5.04
Rata-rata semua data	5.08					5.10				
SD Sampel	0.11					0.15				
Batas bawah	4.89					4.82				
Batas atas	5.33					5.50				

B. Data Putaran, Coefficient of Power, Coefficient of Moment, dan Torsi Statis Turbin Savonius Tanpa Silinder Pengganggu

Tabel B. 1 Data Putaran, Coefficient of Power, Coefficient of Moment, dan Torsi Statis Turbin Savonius Tanpa Silinder Pengganggu pada bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$

Voltase	T (°C)	V (m/s)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	r (m)	A (m ²)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
150	28.5	5	426	44.588	0	0	0.0125	0.092	1.17	1.351	0.000	0.000	0.000
150	28.5	5	336.1	35.178	6	140	0.0125	0.092	1.17	1.066	0.016	0.086	0.081
150	28.5	5	280.38	29.346	15.3	240	0.0125	0.092	1.17	0.889	0.028	0.120	0.135
150	28.5	5	220.74	23.104	24.6	370	0.0125	0.092	1.17	0.700	0.042	0.145	0.208
150	28.5	5	203.98	21.350	27.7	410	0.0125	0.092	1.17	0.647	0.047	0.149	0.230
150	28.5	5	194.6	20.368	30.8	435	0.0125	0.092	1.17	0.617	0.050	0.150	0.243
150	28.5	5	186.4	19.510	33.9	460	0.0125	0.092	1.17	0.591	0.052	0.152	0.256
150	28.5	5	175.86	18.407	37	470	0.0125	0.092	1.17	0.558	0.053	0.145	0.260
150	28.5	5	151.96	15.905	40.1	480	0.0125	0.092	1.17	0.482	0.054	0.128	0.265
150	28.5	5	110.84	11.601	43.2	500	0.0125	0.092	1.17	0.352	0.056	0.097	0.275
150	28.5	5	96.58	10.109	49.4	510	0.0125	0.092	1.17	0.306	0.056	0.085	0.277
150	28.5	5	85.06	8.903	55.6	520	0.0125	0.092	1.17	0.270	0.057	0.075	0.279

150	28.5	5	71.4	7.473	68	540	0.0125	0.092	1.17	0.226	0.058	0.064	0.284
150	28.5	5	57.5	6.018	83.5	560	0.0125	0.092	1.17	0.182	0.058	0.052	0.287
150	28.5	5	37.36	3.910	99	580	0.0125	0.092	1.17	0.118	0.059	0.034	0.289
150	28.5	5	0	0.000	130	600	0.0125	0.092	1.17	0.000	0.058	0.000	0.000

Tabel B. 2 Data Putaran, *Coefficient of Power*, *Coefficient of Moment*, dan Torsi Statis Turbin Savonius Tanpa Silinder Pengganggu pada bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$

Voltase	T (°C)	V (m/s)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	r (m)	A (m ²)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
165	28.5	7	508.4	53.213	0	0	0.0125	0.092	1.17	1.152	0.000	0.000	0.000
165	28.5	7	409.2	42.830	6	220	0.0125	0.092	1.17	0.927	0.026	0.061	0.066
165	28.5	7	372.66	39.005	18.4	310	0.0125	0.092	1.17	0.844	0.036	0.076	0.089
165	28.5	7	330.54	34.597	30.8	430	0.0125	0.092	1.17	0.749	0.049	0.092	0.123
165	28.5	7	300.26	31.427	37	520	0.0125	0.092	1.17	0.680	0.059	0.101	0.148
165	28.5	7	277.08	29.001	40.1	580	0.0125	0.092	1.17	0.628	0.066	0.104	0.166
165	28.5	7	249.9	26.156	43.2	610	0.0125	0.092	1.17	0.566	0.070	0.098	0.174
165	28.5	7	223.6	23.403	46.3	650	0.0125	0.092	1.17	0.507	0.074	0.094	0.185
165	28.5	7	203.46	21.295	49.4	670	0.0125	0.092	1.17	0.461	0.076	0.088	0.190

165	28.5	7	112.74	11.800	58.7	720	0.0125	0.092	1.17	0.255	0.081	0.052	0.203
165	28.5	7	86.14	9.016	74.2	780	0.0125	0.092	1.17	0.195	0.087	0.042	0.217
165	28.5	7	51.8	5.422	89.7	820	0.0125	0.092	1.17	0.117	0.090	0.026	0.224
165	28.5	7	30.96	3.240	120.7	900	0.0125	0.092	1.17	0.070	0.096	0.017	0.239
165	28.5	7	0	0.000	151.7	950	0.0125	0.092	1.17	0.000	0.098	0.000	0.000

Tabel B. 3 Data Torsi Statis Turbin Savonius Tanpa Silinder Pengganggu

Sudut	Torsi Statis (N.cm)	
	$9,7 \times 10^4$	$13,6 \times 10^4$
0	1.08	2.04
10	2.06	3.04
20	2.66	4.18
30	3.28	4.96
40	2.7	4.44
50	2.14	4.1
60	1.64	3.58
70	1.26	3.36

80	1.06	2.82
90	0.64	2.52
100	-0.08	2.24
110	-0.32	2
120	-0.6	1.56
130	-0.9	0.66
140	-0.82	-0.24
150	-0.42	-1.04
160	-0.14	-0.66
170	0.3	0.68
180	1.26	1.78

C. Data Putaran, Coefficient of Power, Coefficient of Moment, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu

Tabel C. 1 Data Putaran Turbin, *Coeffieicnt of Power, Coefficient of Moment*, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,1$ dengan bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$

RE 97000													
S/D 2.8													
Voltase	T (°C)	V (m/s)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	r (m)	A (m ²)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
150	28.5	5	423.78	44.356	0	0	0.0125	0.092	1.17	1.371	0.0000	0.0000	0.0000
150	28.5	5	353.54	37.004	6	125	0.0125	0.092	1.17	1.143	0.0146	0.0803	0.0702
150	28.5	5	346.92	36.311	9.1	140	0.0125	0.092	1.17	1.122	0.0161	0.0866	0.0772
150	28.5	5	334.56	35.017	12.2	165	0.0125	0.092	1.17	1.082	0.0187	0.0975	0.0901
150	28.5	5	325.34	34.052	15.3	185	0.0125	0.092	1.17	1.052	0.0208	0.1053	0.1001
150	28.5	5	318.46	33.332	18.4	200	0.0125	0.092	1.17	1.030	0.0223	0.1103	0.1071
150	28.5	5	296.3	31.013	21.5	240	0.0125	0.092	1.17	0.958	0.0268	0.1235	0.1289
150	28.5	5	275.4	28.825	24.6	280	0.0125	0.092	1.17	0.891	0.0313	0.1342	0.1507
150	28.5	5	259.2	27.130	27.7	315	0.0125	0.092	1.17	0.838	0.0352	0.1421	0.1695

150	28.5	5	236.1	24.712	30.8	370	0.0125	0.092	1.17	0.764	0.0416	0.1528	0.2001
150	28.5	5	225	23.550	33.9	400	0.0125	0.092	1.17	0.728	0.0449	0.1572	0.2160
150	28.5	5	211.4	22.127	37	435	0.0125	0.092	1.17	0.684	0.0488	0.1605	0.2348
150	28.5	5	200.4	20.975	40.1	465	0.0125	0.092	1.17	0.648	0.0521	0.1624	0.2506
150	28.5	5	193.1	20.211	43.2	480	0.0125	0.092	1.17	0.625	0.0536	0.1609	0.2577
150	28.5	5	184.3	19.290	46.3	490	0.0125	0.092	1.17	0.596	0.0544	0.1560	0.2617
150	28.5	5	170.9	17.888	55.6	510	0.0125	0.092	1.17	0.553	0.0557	0.1482	0.2680
150	28.5	5	163	17.061	71.1	530	0.0125	0.092	1.17	0.527	0.0563	0.1427	0.2707
150	28.5	5	156.5	16.380	102.1	560	0.0125	0.092	1.17	0.506	0.0561	0.1367	0.2701
150	28.5	5	126.2	13.209	133.1	600	0.0125	0.092	1.17	0.408	0.0573	0.1124	0.2754
150	28.5	5	81.3	8.509	164.1	650	0.0125	0.092	1.17	0.263	0.0596	0.0754	0.2866
150	28.5	5	0	0.000	257.1	700	0.0125	0.092	1.17	0.000	0.0543	0.0000	0.0000

Tabel C. 2 Data Putaran Turbin, *Coefficient of Power*, *Coefficient of Moment*, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,2$ dengan bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$

Re 97000													
S/D 2.8													
Voltase	T (°C)	V (m/s)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	r (m)	A (m ²)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
150	28.5	5	417.88	43.738	0	0	0.0125	0.092	1.17	1.352	0.0000	0.0000	0.0000
150	28.5	5	304.78	31.900	6	170	0.0125	0.092	1.17	0.986	0.0201	0.0954	0.0967
150	28.5	5	293.82	30.753	9.1	200	0.0125	0.092	1.17	0.950	0.0234	0.1070	0.1126
150	28.5	5	287.26	30.067	12.2	220	0.0125	0.092	1.17	0.929	0.0255	0.1139	0.1226
150	28.5	5	272.68	28.541	15.3	255	0.0125	0.092	1.17	0.882	0.0294	0.1247	0.1414
150	28.5	5	268.18	28.070	18.4	270	0.0125	0.092	1.17	0.867	0.0309	0.1287	0.1484
150	28.5	5	259.34	27.144	21.5	300	0.0125	0.092	1.17	0.839	0.0342	0.1378	0.1643
150	28.5	5	251.98	26.374	24.6	325	0.0125	0.092	1.17	0.815	0.0368	0.1444	0.1772
150	28.5	5	242	25.329	27.7	350	0.0125	0.092	1.17	0.783	0.0395	0.1488	0.1901
150	28.5	5	234.28	24.521	30.8	370	0.0125	0.092	1.17	0.758	0.0416	0.1516	0.2001
150	28.5	5	223.9	23.435	33.9	400	0.0125	0.092	1.17	0.724	0.0449	0.1564	0.2160
150	28.5	5	216.02	22.610	37	425	0.0125	0.092	1.17	0.699	0.0476	0.1599	0.2289
150	28.5	5	206.96	21.662	40.1	450	0.0125	0.092	1.17	0.669	0.0503	0.1618	0.2418

150	28.5	5	194.12	20.318	43.2	470	0.0125	0.092	1.17	0.628	0.0523	0.1581	0.2518
150	28.5	5	175.5	18.369	46.3	490	0.0125	0.092	1.17	0.568	0.0544	0.1486	0.2617
150	28.5	5	157.18	16.452	52.5	505	0.0125	0.092	1.17	0.508	0.0555	0.1357	0.2669
150	28.5	5	143.5	15.020	58.7	520	0.0125	0.092	1.17	0.464	0.0566	0.1263	0.2721
150	28.5	5	117.98	12.349	74.2	560	0.0125	0.092	1.17	0.382	0.0596	0.1093	0.2866
150	28.5	5	82.26	8.610	89.7	580	0.0125	0.092	1.17	0.266	0.0601	0.0769	0.2892
150	28.5	5	61.82	6.470	105.2	600	0.0125	0.092	1.17	0.200	0.0607	0.0584	0.2919
150	28.5	5	43.76	4.580	120.7	620	0.0125	0.092	1.17	0.142	0.0612	0.0417	0.2945
150	28.5	5	0	0.000	166.3	700	0.0125	0.092	1.17	0.000	0.0654	0.0000	0.0000

Tabel C. 3 Data Putaran Turbin, *Coeffieicnt of Power*, *Coefficient of Moment*, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,3$ dengan bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$

RE 97000													
S/D 2.8													
Voltase	T (°C)	V (m/s)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	r (m)	A (m ²)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
150	28.5	5	421.62	44.130	0	0	0.0125	0.092	1.17	1.364	0.0000	0.0000	0.0000
150	28.5	5	288.38	30.184	6	215	0.0125	0.092	1.17	0.933	0.0256	0.1150	0.1233

150	28.5	5	272.68	28.541	9.1	260	0.0125	0.092	1.17	0.882	0.0308	0.1305	0.1480
150	28.5	5	259.56	27.167	12.2	300	0.0125	0.092	1.17	0.839	0.0353	0.1425	0.1698
150	28.5	5	254.84	26.673	15.3	315	0.0125	0.092	1.17	0.824	0.0368	0.1457	0.1768
150	28.5	5	247.66	25.922	18.4	340	0.0125	0.092	1.17	0.801	0.0394	0.1520	0.1897
150	28.5	5	244.08	25.547	21.5	355	0.0125	0.092	1.17	0.789	0.0409	0.1553	0.1967
150	28.5	5	241.8	25.308	24.6	370	0.0125	0.092	1.17	0.782	0.0424	0.1593	0.2037
150	28.5	5	238.26	24.938	27.7	385	0.0125	0.092	1.17	0.771	0.0438	0.1624	0.2108
150	28.5	5	234.5	24.544	30.8	400	0.0125	0.092	1.17	0.758	0.0453	0.1652	0.2178
150	28.5	5	228.26	23.891	33.9	420	0.0125	0.092	1.17	0.738	0.0473	0.1681	0.2278
150	28.5	5	220.22	23.050	37	440	0.0125	0.092	1.17	0.712	0.0494	0.1693	0.2377
150	28.5	5	208.4	21.813	40.1	460	0.0125	0.092	1.17	0.674	0.0515	0.1669	0.2477
150	28.5	5	195.58	20.471	49.4	480	0.0125	0.092	1.17	0.633	0.0528	0.1607	0.2540
150	28.5	5	170.86	17.883	64.9	500	0.0125	0.092	1.17	0.553	0.0534	0.1418	0.2567
150	28.5	5	102.48	10.726	95.9	550	0.0125	0.092	1.17	0.331	0.0557	0.0888	0.2679
150	28.5	5	63.78	6.676	126.9	630	0.0125	0.092	1.17	0.206	0.0617	0.0612	0.2968
150	28.5	5	0	0.000	157.9	650	0.0125	0.092	1.17	0.000	0.0603	0.0000	0.0000

Tabel C. 4 Data Putaran Turbin, *Coefficient of Power*, *Coefficient of Moment*, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,4$ dengan bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$

RE 97000													
S/D 2.8													
Voltase	T (°C)	V (m/s)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	r (m)	A (m ²)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
150	28.5	5	419.86	43.945	0	0	0.0125	0.092	1.17	1.358	0.0000	0.0000	0.0000
150	28.5	5	313.12	32.773	6	190	0.0125	0.092	1.17	1.013	0.0226	0.1099	0.1085
150	28.5	5	294	30.772	9.1	240	0.0125	0.092	1.17	0.951	0.0283	0.1295	0.1362
150	28.5	5	283.54	29.677	12.2	275	0.0125	0.092	1.17	0.917	0.0322	0.1422	0.1550
150	28.5	5	265.6	27.799	15.3	325	0.0125	0.092	1.17	0.859	0.0380	0.1569	0.1827
150	28.5	5	248.62	26.022	18.4	370	0.0125	0.092	1.17	0.804	0.0431	0.1668	0.2074
150	28.5	5	223.08	23.349	21.5	440	0.0125	0.092	1.17	0.721	0.0513	0.1781	0.2469
150	28.5	5	205.28	21.486	24.6	485	0.0125	0.092	1.17	0.664	0.0565	0.1803	0.2716
150	28.5	5	190.2	19.908	27.7	500	0.0125	0.092	1.17	0.615	0.0579	0.1714	0.2786
150	28.5	5	166.1	17.385	30.8	520	0.0125	0.092	1.17	0.537	0.0600	0.1550	0.2886
150	28.5	5	142.58	14.923	37	530	0.0125	0.092	1.17	0.461	0.0605	0.1341	0.2908
150	28.5	5	117.175	12.264	43.2	550	0.0125	0.092	1.17	0.379	0.0621	0.1133	0.2990
150	28.5	5	84.78	8.874	52.5	570	0.0125	0.092	1.17	0.274	0.0635	0.0837	0.3053

150	28.5	5	50.32	5.267	74.2	580	0.0125	0.092	1.17	0.163	0.0620	0.0486	0.2984
150	28.5	5	32.92	3.446	83.5	590	0.0125	0.092	1.17	0.106	0.0621	0.0318	0.2988
150	28.5	5	0	0.000	105.2	700	0.0125	0.092	1.17	0.000	0.0729	0.0000	0.0000

Tabel C. 5 Data Putaran Turbin, *Coeffieicnt of Power*, *Coefficient of Moment*, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,5$ dengan bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$

RE 97000													
S/D 2.8													
Voltase	T (°C)	V (m/s)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	r (m)	A (m ²)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
150	28.5	5	429.32	44.935	0	0	0.0125	0.092	1.17	1.389	0.0000	0.0000	0.0000
150	28.5	5	317.74	33.257	6	250	0.0125	0.092	1.17	1.028	0.0299	0.1479	0.1439
150	28.5	5	304.98	31.921	9.1	280	0.0125	0.092	1.17	0.986	0.0332	0.1576	0.1598
150	28.5	5	301.98	31.607	12.2	290	0.0125	0.092	1.17	0.977	0.0341	0.1600	0.1639
150	28.5	5	292.74	30.640	15.3	320	0.0125	0.092	1.17	0.947	0.0374	0.1702	0.1797
150	28.5	5	288.12	30.157	18.4	330	0.0125	0.092	1.17	0.932	0.0382	0.1713	0.1838
150	28.5	5	285.46	29.878	21.5	340	0.0125	0.092	1.17	0.923	0.0391	0.1735	0.1879
150	28.5	5	274.52	28.733	24.6	370	0.0125	0.092	1.17	0.888	0.0424	0.1809	0.2037

150	28.5	5	268.24	28.076	27.7	385	0.0125	0.092	1.17	0.868	0.0438	0.1828	0.2108
150	28.5	5	263.16	27.544	30.8	400	0.0125	0.092	1.17	0.851	0.0453	0.1854	0.2178
150	28.5	5	258.86	27.094	33.9	410	0.0125	0.092	1.17	0.837	0.0461	0.1857	0.2219
150	28.5	5	256.92	26.891	37	420	0.0125	0.092	1.17	0.831	0.0470	0.1877	0.2259
150	28.5	5	254.02	26.587	40.1	430	0.0125	0.092	1.17	0.822	0.0478	0.1890	0.2300
150	28.5	5	252.92	26.472	43.2	435	0.0125	0.092	1.17	0.818	0.0480	0.1891	0.2311
150	28.5	5	247.36	25.890	46.3	450	0.0125	0.092	1.17	0.800	0.0495	0.1905	0.2381
150	28.5	5	244.82	25.624	49.4	460	0.0125	0.092	1.17	0.792	0.0503	0.1918	0.2422
150	28.5	5	240.96	25.220	52.5	475	0.0125	0.092	1.17	0.779	0.0518	0.1942	0.2492
150	28.5	5	239.1	25.026	55.6	480	0.0125	0.092	1.17	0.773	0.0520	0.1936	0.2503
150	28.5	5	231.92	24.274	58.7	490	0.0125	0.092	1.17	0.750	0.0529	0.1908	0.2544
150	28.5	5	224.08	23.454	61.8	500	0.0125	0.092	1.17	0.725	0.0537	0.1873	0.2585
150	28.5	5	214.14	22.413	64.9	510	0.0125	0.092	1.17	0.693	0.0546	0.1818	0.2626
150	28.5	5	207.94	21.764	71.1	520	0.0125	0.092	1.17	0.673	0.0550	0.1781	0.2648
150	28.5	5	194.72	20.381	86.6	540	0.0125	0.092	1.17	0.630	0.0556	0.1684	0.2675
150	28.5	5	182.6	19.112	102.1	560	0.0125	0.092	1.17	0.591	0.0561	0.1595	0.2701
150	28.5	5	159.52	16.696	133.1	600	0.0125	0.092	1.17	0.516	0.0573	0.1421	0.2754
150	28.5	5	130.08	13.615	164.1	660	0.0125	0.092	1.17	0.421	0.0608	0.1231	0.2925
150	28.5	5	95.3	9.975	195.1	720	0.0125	0.092	1.17	0.308	0.0644	0.0954	0.3096
150	28.5	5	0	0.000	226.1	740	0.0125	0.092	1.17	0.000	0.0630	0.0000	0.0000

Tabel C. 6 Data Putaran Turbin, *Coeffieicnt of Power*, *Coefficient of Moment*, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,6$ dengan bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$

RE 97000													
S/D 2.8													
Voltase	T (°C)	V (m/s)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	r (m)	A (m ²)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
150	28.5	5	425.1	44.494	0	0	0.0125	0.092	1.17	1.375	0.0000	0.0000	0.0000
150	28.5	5	284.12	29.738	6	280	0.0125	0.092	1.17	0.919	0.0336	0.1485	0.1616
150	28.5	5	273.54	28.631	9.1	320	0.0125	0.092	1.17	0.885	0.0381	0.1622	0.1834
150	28.5	5	261.46	27.366	12.2	360	0.0125	0.092	1.17	0.846	0.0426	0.1735	0.2052
150	28.5	5	254.34	26.621	15.3	390	0.0125	0.092	1.17	0.823	0.0459	0.1818	0.2210
150	28.5	5	247.32	25.886	18.4	410	0.0125	0.092	1.17	0.800	0.0480	0.1848	0.2310
150	28.5	5	232.84	24.371	21.5	460	0.0125	0.092	1.17	0.753	0.0538	0.1948	0.2587
150	28.5	5	222.4	23.278	24.6	490	0.0125	0.092	1.17	0.719	0.0571	0.1975	0.2745
150	28.5	5	212.2	22.210	27.7	520	0.0125	0.092	1.17	0.686	0.0604	0.1993	0.2904
150	28.5	5	199.48	20.879	30.8	550	0.0125	0.092	1.17	0.645	0.0637	0.1976	0.3063
150	28.5	5	178.96	18.731	33.9	560	0.0125	0.092	1.17	0.579	0.0645	0.1796	0.3103
150	28.5	5	168.44	17.630	37	570	0.0125	0.092	1.17	0.545	0.0654	0.1713	0.3144

150	28.5	5	135.38	14.170	40.1	580	0.0125	0.092	1.17	0.438	0.0662	0.1394	0.3185
150	28.5	5	100.74	10.544	55.6	590	0.0125	0.092	1.17	0.326	0.0655	0.1027	0.3152
150	28.5	5	74.66	7.814	71.1	610	0.0125	0.092	1.17	0.241	0.0661	0.0768	0.3179
150	28.5	5	0	0.000	102.1	670	0.0125	0.092	1.17	0.000	0.0696	0.0000	0.0000

Tabel C. 7 Data Putaran Turbin, *Coefficient of Power*, *Coefficient of Moment*, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,7$ dengan bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$

RE 97000													
S/D 2.8													
Voltase	T (°C)	V (m/s)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	r (m)	A (m ²)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
150	28.5	5	425.78	44.565	0	0	0.0125	0.092	1.17	1.377	0.0000	0.0000	0.0000
150	28.5	5	298.18	31.210	6	270	0.0125	0.092	1.17	0.964	0.0324	0.1502	0.1557
150	28.5	5	287.68	30.111	9.1	310	0.0125	0.092	1.17	0.930	0.0369	0.1651	0.1775
150	28.5	5	281.08	29.420	12.2	330	0.0125	0.092	1.17	0.909	0.0390	0.1704	0.1875
150	28.5	5	277.7	29.066	15.3	345	0.0125	0.092	1.17	0.898	0.0404	0.1747	0.1945
150	28.5	5	275	28.783	18.4	355	0.0125	0.092	1.17	0.889	0.0413	0.1766	0.1986
150	28.5	5	273.76	28.654	21.5	365	0.0125	0.092	1.17	0.885	0.0421	0.1794	0.2026

150	28.5	5	268.42	28.095	24.6	385	0.0125	0.092	1.17	0.868	0.0442	0.1846	0.2126
	28.5	5	256.5	26.847	27.7	415	0.0125	0.092	1.17	0.830	0.0475	0.1895	0.2285
150	28.5	5	249.86	26.152	30.8	425	0.0125	0.092	1.17	0.808	0.0483	0.1879	0.2325
150	28.5	5	231.5	24.230	33.9	450	0.0125	0.092	1.17	0.749	0.0510	0.1838	0.2455
150	28.5	5	220.06	23.033	37	465	0.0125	0.092	1.17	0.712	0.0525	0.1797	0.2525
150	28.5	5	215.36	22.541	40.1	470	0.0125	0.092	1.17	0.697	0.0527	0.1766	0.2536
150	28.5	5	200.76	21.013	43.2	480	0.0125	0.092	1.17	0.649	0.0536	0.1673	0.2577
150	28.5	5	181.82	19.030	52.5	500	0.0125	0.092	1.17	0.588	0.0549	0.1552	0.2640
150	28.5	5	164.58	17.226	68	530	0.0125	0.092	1.17	0.532	0.0567	0.1451	0.2725
150	28.5	5	119.54	12.512	83.5	570	0.0125	0.092	1.17	0.387	0.0597	0.1110	0.2870
150	28.5	5	97.8	10.236	114.5	620	0.0125	0.092	1.17	0.316	0.0620	0.0943	0.2982
150	28.5	5	62.88	6.581	145.5	680	0.0125	0.092	1.17	0.203	0.0655	0.0641	0.3153
150	28.5	5	0	0.000	176.5	710	0.0125	0.092	1.17	0.000	0.0654	0.0000	0.0000

Tabel C. 8 Data Putaran Turbin, *Coefficient of Power*, *Coefficient of Moment*, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,8$ dengan bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$

RE 97000													
S/D 2.8													
Voltase	T (°C)	V (m/s)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	r (m)	A (m ²)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
150	28.5	5	427.18	44.712	0	0	0.0125	0.092	1.17	1.382	0.0000	0.0000	0.0000
150	28.5	5	306.6	32.091	6	240	0.0125	0.092	1.17	0.992	0.0287	0.1369	0.1380
150	28.5	5	295.48	30.927	9.1	280	0.0125	0.092	1.17	0.956	0.0332	0.1527	0.1598
150	28.5	5	287.56	30.098	12.2	300	0.0125	0.092	1.17	0.930	0.0353	0.1579	0.1698
150	28.5	5	282.62	29.581	15.3	320	0.0125	0.092	1.17	0.914	0.0374	0.1643	0.1797
150	28.5	5	273.86	28.664	18.4	340	0.0125	0.092	1.17	0.886	0.0394	0.1680	0.1897
150	28.5	5	259.06	27.115	21.5	375	0.0125	0.092	1.17	0.838	0.0433	0.1747	0.2085
150	28.5	5	253.82	26.566	24.6	395	0.0125	0.092	1.17	0.821	0.0454	0.1794	0.2185
150	28.5	5	228.8	23.948	27.7	450	0.0125	0.092	1.17	0.740	0.0518	0.1843	0.2491
150	28.5	5	208.52	21.825	30.8	480	0.0125	0.092	1.17	0.674	0.0551	0.1787	0.2650
150	28.5	5	194.12	20.318	33.9	500	0.0125	0.092	1.17	0.628	0.0572	0.1726	0.2749
150	28.5	5	182.34	19.085	37	520	0.0125	0.092	1.17	0.590	0.0592	0.1680	0.2849
150	28.5	5	177.08	18.534	40.1	530	0.0125	0.092	1.17	0.573	0.0601	0.1655	0.2890

150	28.5	5	173	18.107	43.2	540	0.0125	0.092	1.17	0.560	0.0609	0.1640	0.2931
150	28.5	5	169.74	17.766	46.3	545	0.0125	0.092	1.17	0.549	0.0612	0.1615	0.2942
150	28.5	5	162.76	17.036	55.6	555	0.0125	0.092	1.17	0.526	0.0612	0.1551	0.2946
150	28.5	5	140.72	14.729	71.1	580	0.0125	0.092	1.17	0.455	0.0624	0.1366	0.3002
150	28.5	5	120.24	12.585	86.6	600	0.0125	0.092	1.17	0.389	0.0630	0.1178	0.3028
150	28.5	5	91	9.525	102.1	630	0.0125	0.092	1.17	0.294	0.0647	0.0916	0.3114
150	28.5	5	54.12	5.665	133.1	670	0.0125	0.092	1.17	0.175	0.0658	0.0554	0.3167
150	28.5	5	34.94	3.657	195.1	720	0.0125	0.092	1.17	0.113	0.0644	0.0350	0.3096
150	28.5	5	0	0.000	226.1	800	0.0125	0.092	1.17	0.000	0.0704	0.0000	0.0000

Tabel C. 9 Data Putaran Turbin, *Coeffieicnt of Power*, *Coefficient of Moment*, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,9$ dengan bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$

RE 97000													
S/D 2.8													
Voltase	T (°C)	V (m/s)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	r (m)	A (m ²)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
150	28.5	5	422.8	44.253	0	0	0.0125	0.092	1.17	1.367	0.0000	0.0000	0.0000
150	28.5	5	271.96	28.465	6	270	0.0125	0.092	1.17	0.880	0.0324	0.1370	0.1557

150	28.5	5	261.36	27.356	9.1	300	0.0125	0.092	1.17	0.845	0.0357	0.1450	0.1716
150	28.5	5	240.12	25.133	12.2	360	0.0125	0.092	1.17	0.777	0.0426	0.1593	0.2052
150	28.5	5	228.34	23.900	15.3	400	0.0125	0.092	1.17	0.738	0.0472	0.1676	0.2269
150	28.5	5	221.06	23.138	18.4	420	0.0125	0.092	1.17	0.715	0.0492	0.1694	0.2369
150	28.5	5	215.7	22.577	21.5	430	0.0125	0.092	1.17	0.698	0.0501	0.1681	0.2410
150	28.5	5	167.74	17.557	24.6	450	0.0125	0.092	1.17	0.543	0.0522	0.1361	0.2509
150	28.5	5	136.28	14.264	33.9	470	0.0125	0.092	1.17	0.441	0.0535	0.1134	0.2572
150	28.5	5	83.8	8.771	49.4	520	0.0125	0.092	1.17	0.271	0.0577	0.0752	0.2776
150	28.5	5	43.94	4.599	80.4	600	0.0125	0.092	1.17	0.142	0.0637	0.0436	0.3065
150	28.5	5	0	0.000	111.4	640	0.0125	0.092	1.17	0.000	0.0648	0.0000	0.0000

Tabel C. 10 Data Putaran Turbin, *Coeffieicnt of Power*, *Coefficient of Moment*, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 1,0$ dengan bilangan Reynolds $9,7 \times 10^4$

RE 97000													
S/D 2.8													
Voltase	T (°C)	V (m/s)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	r (m)	A (m ²)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
150	28.5	5	425.02	44.485	0	0	0.0125	0.092	1.17	1.375	0.0000	0.0000	0.0000

150	28.5	5	273.32	28.607	6	250	0.0125	0.092	1.17	0.884	0.0299	0.1272	0.1439
150	28.5	5	259.4	27.151	9.1	280	0.0125	0.092	1.17	0.839	0.0332	0.1341	0.1598
150	28.5	5	251.96	26.372	12.2	300	0.0125	0.092	1.17	0.815	0.0353	0.1383	0.1698
150	28.5	5	246.58	25.809	15.3	315	0.0125	0.092	1.17	0.797	0.0368	0.1410	0.1768
150	28.5	5	233.12	24.400	18.4	350	0.0125	0.092	1.17	0.754	0.0407	0.1475	0.1956
150	28.5	5	223.82	23.426	21.5	375	0.0125	0.092	1.17	0.724	0.0433	0.1509	0.2085
150	28.5	5	215.14	22.518	24.6	400	0.0125	0.092	1.17	0.696	0.0460	0.1541	0.2214
150	28.5	5	204.8	21.436	27.7	420	0.0125	0.092	1.17	0.662	0.0481	0.1533	0.2314
150	28.5	5	197.58	20.680	30.8	430	0.0125	0.092	1.17	0.639	0.0490	0.1505	0.2355
150	28.5	5	174.82	18.298	40.1	460	0.0125	0.092	1.17	0.565	0.0515	0.1400	0.2477
150	28.5	5	140.02	14.655	55.6	500	0.0125	0.092	1.17	0.453	0.0545	0.1187	0.2621
150	28.5	5	120.78	12.642	86.6	540	0.0125	0.092	1.17	0.391	0.0556	0.1045	0.2675
150	28.5	5	65.62	6.868	117.6	600	0.0125	0.092	1.17	0.212	0.0592	0.0604	0.2846
150	28.5	5	0	0.000	148.6	650	0.0125	0.092	1.17	0.000	0.0615	0.0000	0.0000

Tabel C. 11 Data Putaran Turbin, *Coeffieicnt of Power*, *Coefficient of Moment*, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,1$ dengan bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$

RE 136000													
S/D 2.8													
Voltase	T (°C)	V (m/s)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	r (m)	A (m ²)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
165	28.5	7	510.04	53.384	0	0	0.0125	0.092	1.17	1.178	0.0000	0.0000	0.0000
165	28.5	7	488.34	51.113	6	140	0.0125	0.092	1.17	1.128	0.0164	0.0455	0.0403
165	28.5	7	474.68	49.683	9.1	190	0.0125	0.092	1.17	1.097	0.0222	0.0597	0.0544
165	28.5	7	464.12	48.578	12.2	220	0.0125	0.092	1.17	1.072	0.0255	0.0671	0.0625
165	28.5	7	450.66	47.169	15.3	260	0.0125	0.092	1.17	1.041	0.0300	0.0767	0.0736
165	28.5	7	441.96	46.258	18.4	285	0.0125	0.092	1.17	1.021	0.0327	0.0819	0.0802
165	28.5	7	423	44.274	21.5	320	0.0125	0.092	1.17	0.977	0.0366	0.0878	0.0898
165	28.5	7	403.54	42.237	24.6	360	0.0125	0.092	1.17	0.932	0.0411	0.0941	0.1009
165	28.5	7	378.72	39.639	27.7	410	0.0125	0.092	1.17	0.875	0.0469	0.1007	0.1151
165	28.5	7	342.9	35.890	30.8	475	0.0125	0.092	1.17	0.792	0.0545	0.1059	0.1337
165	28.5	7	318.3	33.315	40.1	535	0.0125	0.092	1.17	0.735	0.0607	0.1095	0.1489
165	28.5	7	299.8	31.379	55.6	580	0.0125	0.092	1.17	0.693	0.0643	0.1093	0.1578
165	28.5	7	281.62	29.476	86.6	630	0.0125	0.092	1.17	0.651	0.0666	0.1064	0.1635

165	28.5	7	261.58	27.379	117.6	680	0.0125	0.092	1.17	0.604	0.0690	0.1023	0.1693
165	28.5	7	141.28	14.787	148.6	820	0.0125	0.092	1.17	0.326	0.0823	0.0659	0.2021
165	28.5	7	82.48	8.633	179.6	960	0.0125	0.092	1.17	0.191	0.0957	0.0448	0.2349
165	28.5	7	0	0.000	210.6	900	0.0125	0.092	1.17	0.000	0.0845	0.0000	0.0000

Tabel C. 12 Data Putaran Turbin, *Coeffieicnt of Power*, *Coefficient of Moment*, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,2$ dengan bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$

Re 136000													
S/D 2.8													
Voltase	T (°C)	V (m/s)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	r (m)	A (m ²)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
165	28.5	7	515.3	53.935	0	0	0.0125	0.092	1.17	1.190	0.0000	0.0000	0.0000
165	28.5	7	481.04	50.349	6	180	0.0125	0.092	1.17	1.111	0.0213	0.0582	0.0524
165	28.5	7	474.96	49.712	9.1	200	0.0125	0.092	1.17	1.097	0.0234	0.0630	0.0575
165	28.5	7	465.28	48.699	12.2	220	0.0125	0.092	1.17	1.075	0.0255	0.0672	0.0625
165	28.5	7	455.12	47.636	15.3	250	0.0125	0.092	1.17	1.051	0.0288	0.0743	0.0706
165	28.5	7	446.18	46.700	18.4	270	0.0125	0.092	1.17	1.031	0.0309	0.0780	0.0757
165	28.5	7	442.28	46.292	21.5	280	0.0125	0.092	1.17	1.022	0.0317	0.0795	0.0778

165	28.5	7	434.66	45.494	24.6	295	0.0125	0.092	1.17	1.004	0.0332	0.0817	0.0814
165	28.5	7	420.24	43.985	27.7	325	0.0125	0.092	1.17	0.971	0.0365	0.0869	0.0895
165	28.5	7	409.82	42.894	30.8	345	0.0125	0.092	1.17	0.947	0.0385	0.0895	0.0946
165	28.5	7	389.56	40.774	33.9	385	0.0125	0.092	1.17	0.900	0.0431	0.0951	0.1057
165	28.5	7	370.36	38.764	37	420	0.0125	0.092	1.17	0.856	0.0470	0.0986	0.1153
165	28.5	7	350.08	36.642	40.1	460	0.0125	0.092	1.17	0.809	0.0515	0.1022	0.1264
165	28.5	7	320.54	33.550	43.2	525	0.0125	0.092	1.17	0.740	0.0591	0.1074	0.1450
165	28.5	7	301.12	31.517	46.3	575	0.0125	0.092	1.17	0.696	0.0648	0.1107	0.1591
165	28.5	7	290.1	30.364	55.6	605	0.0125	0.092	1.17	0.670	0.0674	0.1108	0.1653
165	28.5	7	280.04	29.311	58.7	620	0.0125	0.092	1.17	0.647	0.0688	0.1093	0.1689
165	28.5	7	260.44	27.259	61.8	640	0.0125	0.092	1.17	0.602	0.0709	0.1047	0.1740
165	28.5	7	190.3	19.918	71.1	720	0.0125	0.092	1.17	0.440	0.0796	0.0859	0.1953
165	28.5	7	120.74	12.637	102.1	860	0.0125	0.092	1.17	0.279	0.0929	0.0636	0.2281
165	28.5	7	75.7	7.923	133.1	930	0.0125	0.092	1.17	0.175	0.0977	0.0419	0.2398
165	28.5	7	0	0.000	164.1	950	0.0125	0.092	1.17	0.000	0.0964	0.0000	0.0000

Tabel C. 13 Data Putaran Turbin, *Coeffieicnt of Power*, *Coefficient of Moment*, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,3$ dengan bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$

Re 136000													
S/D 2.8													
Voltase	T (°C)	V (m/s)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	r (m)	A (m ²)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
165	28.5	7	512.38	53.629	0	0	0.0125	0.092	1.17	1.184	0.0000	0.0000	0.0000
165	28.5	7	428.7	44.871	6	250	0.0125	0.092	1.17	0.990	0.0299	0.0727	0.0734
165	28.5	7	393.46	41.182	9.1	330	0.0125	0.092	1.17	0.909	0.0394	0.0878	0.0966
165	28.5	7	369.525	38.677	12.2	380	0.0125	0.092	1.17	0.854	0.0451	0.0945	0.1107
165	28.5	7	358.4	37.513	15.3	410	0.0125	0.092	1.17	0.828	0.0484	0.0984	0.1188
165	28.5	7	337.98	35.375	18.4	460	0.0125	0.092	1.17	0.781	0.0542	0.1038	0.1329
165	28.5	7	324.72	33.987	21.5	500	0.0125	0.092	1.17	0.750	0.0587	0.1080	0.1440
165	28.5	7	314.72	32.941	24.6	530	0.0125	0.092	1.17	0.727	0.0620	0.1106	0.1521
165	28.5	7	299.38	31.335	27.7	575	0.0125	0.092	1.17	0.692	0.0671	0.1139	0.1647
165	28.5	7	271.76	28.444	30.8	615	0.0125	0.092	1.17	0.628	0.0716	0.1104	0.1758
165	28.5	7	221.58	23.192	40.1	680	0.0125	0.092	1.17	0.512	0.0785	0.0986	0.1926
165	28.5	7	183.66	19.223	55.6	750	0.0125	0.092	1.17	0.424	0.0852	0.0887	0.2090

165	28.5	7	103.16	10.797	86.6	900	0.0125	0.092	1.17	0.238	0.0997	0.0583	0.2448
165	28.5	7	0	0.000	117.6	950	0.0125	0.092	1.17	0.000	0.1021	0.0000	0.0000

Tabel C. 14 Data Putaran Turbin, *Coeffieicnt of Power*, *Coefficient of Moment*, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,4$ dengan bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$

RE 136000													
S/D 2.8													
Voltase	T (°C)	V (m/s)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	r (m)	A (m ²)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
165	28.5	7	509.9	53.370	0	0	0.0125	0.092	1.17	1.178	0.0000	0.0000	0.0000
165	28.5	7	455.8	47.707	6	220	0.0125	0.092	1.17	1.053	0.0262	0.0678	0.0644
165	28.5	7	431.44	45.157	9.1	280	0.0125	0.092	1.17	0.997	0.0332	0.0813	0.0815
165	28.5	7	420.52	44.014	12.2	310	0.0125	0.092	1.17	0.971	0.0365	0.0871	0.0896
165	28.5	7	417.24	43.671	15.3	320	0.0125	0.092	1.17	0.964	0.0374	0.0884	0.0917
165	28.5	7	410.18	42.932	18.4	340	0.0125	0.092	1.17	0.948	0.0394	0.0917	0.0968
165	28.5	7	407.9	42.694	21.5	350	0.0125	0.092	1.17	0.942	0.0403	0.0932	0.0989
165	28.5	7	403.24	42.206	24.6	370	0.0125	0.092	1.17	0.932	0.0424	0.0968	0.1040
165	28.5	7	395.4	41.385	27.7	390	0.0125	0.092	1.17	0.913	0.0444	0.0996	0.1090

165	28.5	7	389.96	40.816	30.8	410	0.0125	0.092	1.17	0.901	0.0465	0.1028	0.1141
165	28.5	7	385.12	40.309	33.9	430	0.0125	0.092	1.17	0.890	0.0486	0.1061	0.1192
165	28.5	7	382.48	40.033	37	440	0.0125	0.092	1.17	0.884	0.0494	0.1072	0.1213
165	28.5	7	378.16	39.581	40.1	450	0.0125	0.092	1.17	0.874	0.0503	0.1078	0.1234
165	28.5	7	369.88	38.714	43.2	470	0.0125	0.092	1.17	0.854	0.0523	0.1098	0.1285
165	28.5	7	365.3	38.235	46.3	490	0.0125	0.092	1.17	0.844	0.0544	0.1127	0.1335
165	28.5	7	359.5	37.628	49.4	510	0.0125	0.092	1.17	0.830	0.0565	0.1151	0.1386
165	28.5	7	355.26	37.184	52.5	530	0.0125	0.092	1.17	0.821	0.0586	0.1179	0.1437
165	28.5	7	351.42	36.782	55.6	545	0.0125	0.092	1.17	0.812	0.0600	0.1196	0.1473
165	28.5	7	346.08	36.223	58.7	565	0.0125	0.092	1.17	0.799	0.0621	0.1218	0.1524
165	28.5	7	343.08	35.909	61.8	580	0.0125	0.092	1.17	0.793	0.0635	0.1236	0.1560
165	28.5	7	334.94	35.057	64.9	605	0.0125	0.092	1.17	0.774	0.0662	0.1258	0.1625
165	28.5	7	324	33.912	68	620	0.0125	0.092	1.17	0.748	0.0677	0.1243	0.1661
165	28.5	7	314.12	32.878	71.1	630	0.0125	0.092	1.17	0.726	0.0685	0.1221	0.1682
165	28.5	7	304.64	31.886	74.2	640	0.0125	0.092	1.17	0.704	0.0694	0.1198	0.1703
165	28.5	7	296.74	31.059	77.3	650	0.0125	0.092	1.17	0.686	0.0702	0.1182	0.1724
165	28.5	7	288.16	30.161	80.4	660	0.0125	0.092	1.17	0.666	0.0711	0.1161	0.1744
165	28.5	7	253.6	26.543	83.5	680	0.0125	0.092	1.17	0.586	0.0731	0.1052	0.1795
165	28.5	7	239.02	25.017	86.6	700	0.0125	0.092	1.17	0.552	0.0752	0.1019	0.1846
165	28.5	7	158.18	16.556	89.7	730	0.0125	0.092	1.17	0.365	0.0785	0.0704	0.1927

165	28.5	7	103.1	10.791	92.8	750	0.0125	0.092	1.17	0.238	0.0806	0.0471	0.1978
165	28.5	7	95.38	9.983	95.9	760	0.0125	0.092	1.17	0.220	0.0814	0.0440	0.1999
165	28.5	7	68.88	7.209	99	800	0.0125	0.092	1.17	0.159	0.0860	0.0336	0.2110
165	28.5	7	49.54	5.185	114.5	850	0.0125	0.092	1.17	0.114	0.0902	0.0253	0.2214
165	28.5	7	32.9	3.444	145.5	950	0.0125	0.092	1.17	0.076	0.0987	0.0184	0.2421
165	28.5	7	24.54	2.569	176.5	1000	0.0125	0.092	1.17	0.057	0.1010	0.0141	0.2478
165	28.5	7	0	0.000	207.5	1100	0.0125	0.092	1.17	0.000	0.1094	0.0000	0.0000

Tabel C. 15 Data Putaran Turbin, *Coeffieicnt of Power*, *Coefficient of Moment*, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,5$ dengan bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$

RE 136000													
S/D 2.8													
Voltase	T (°C)	V (m/s)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	r (m)	A (m ²)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
165	28.5	7	520.14	54.441	0	0	0.0125	0.092	1.17	1.202	0.0000	0.0000	0.0000
165	28.5	7	463.3	48.492	6	260	0.0125	0.092	1.17	1.070	0.0311	0.0818	0.0764
165	28.5	7	448.22	46.914	9.1	310	0.0125	0.092	1.17	1.035	0.0369	0.0938	0.0906
165	28.5	7	426.52	44.642	12.2	360	0.0125	0.092	1.17	0.985	0.0426	0.1031	0.1047

165	28.5	7	409.42	42.853	15.3	400	0.0125	0.092	1.17	0.946	0.0472	0.1095	0.1158
165	28.5	7	379.92	39.765	18.4	460	0.0125	0.092	1.17	0.878	0.0542	0.1166	0.1329
165	28.5	7	365.06	38.210	21.5	500	0.0125	0.092	1.17	0.843	0.0587	0.1214	0.1440
165	28.5	7	345.76	36.190	24.6	550	0.0125	0.092	1.17	0.799	0.0644	0.1263	0.1581
165	28.5	7	327.82	34.312	27.7	585	0.0125	0.092	1.17	0.757	0.0683	0.1270	0.1677
165	28.5	7	314.52	32.920	37	620	0.0125	0.092	1.17	0.727	0.0715	0.1275	0.1755
165	28.5	7	300.04	31.404	52.5	660	0.0125	0.092	1.17	0.693	0.0745	0.1267	0.1828
165	28.5	7	280.12	29.319	68	700	0.0125	0.092	1.17	0.647	0.0775	0.1231	0.1902
165	28.5	7	196.34	20.550	83.5	810	0.0125	0.092	1.17	0.454	0.0891	0.0992	0.2186
165	28.5	7	123.82	12.960	114.5	900	0.0125	0.092	1.17	0.286	0.0963	0.0676	0.2364
165	28.5	7	34.34	3.594	145.5	980	0.0125	0.092	1.17	0.079	0.1023	0.0199	0.2512
165	28.5	7	0	0.000	176.5	1000	0.0125	0.092	1.17	0.000	0.1010	0.0000	0.0000

Tabel C. 16 Data Putaran Turbin, *Coeffieicnt of Power*, *Coefficient of Moment*, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,6$ dengan bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$

RE 136000													
S/D 2.8													
Voltase	T (°C)	V (m/s)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	r (m)	A (m ²)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
165	28.5	7	510.74	53.457	0	0	0.0125	0.092	1.17	1.180	0.0000	0.0000	0.0000
165	28.5	7	424.88	44.471	6	300	0.0125	0.092	1.17	0.982	0.0361	0.0868	0.0885
165	28.5	7	407.04	42.604	9.1	360	0.0125	0.092	1.17	0.940	0.0430	0.0993	0.1056
165	28.5	7	371.64	38.898	15.3	470	0.0125	0.092	1.17	0.859	0.0558	0.1175	0.1368
165	28.5	7	360.64	37.747	18.4	500	0.0125	0.092	1.17	0.833	0.0591	0.1208	0.1449
165	28.5	7	343.86	35.991	21.5	545	0.0125	0.092	1.17	0.794	0.0642	0.1252	0.1576
165	28.5	7	330.92	34.636	24.6	575	0.0125	0.092	1.17	0.764	0.0675	0.1266	0.1656
165	28.5	7	313.3	32.792	27.7	605	0.0125	0.092	1.17	0.724	0.0708	0.1258	0.1737
165	28.5	7	303.12	31.727	30.8	620	0.0125	0.092	1.17	0.700	0.0723	0.1242	0.1773
165	28.5	7	270.88	28.352	40.1	660	0.0125	0.092	1.17	0.626	0.0760	0.1167	0.1866
165	28.5	7	117.06	12.252	55.6	830	0.0125	0.092	1.17	0.270	0.0950	0.0630	0.2331
165	28.5	7	66.16	6.925	86.6	900	0.0125	0.092	1.17	0.153	0.0997	0.0374	0.2448
165	28.5	7	0	0.000	117.6	950	0.0125	0.092	1.17	0.000	0.1021	0.0000	0.0000

Tabel C. 17 Data Putaran Turbin, *Coeffieicnt of Power*, *Coefficient of Moment*, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,7$ dengan bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$

RE 136000													
S/D 2.8													
Voltase	T (°C)	V (m/s)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	r (m)	A (m ²)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
165	28.5	7	511.5	53.537	0	0	0.0125	0.092	1.17	1.182	0.0000	0.0000	0.0000
165	28.5	7	481.18	50.364	6	180	0.0125	0.092	1.17	1.112	0.0213	0.0582	0.0524
165	28.5	7	414.22	43.355	12.2	390	0.0125	0.092	1.17	0.957	0.0463	0.1088	0.1137
165	28.5	7	373.36	39.078	15.3	470	0.0125	0.092	1.17	0.863	0.0558	0.1180	0.1368
165	28.5	7	356.78	37.343	18.4	500	0.0125	0.092	1.17	0.824	0.0591	0.1195	0.1449
165	28.5	7	344.94	36.104	21.5	530	0.0125	0.092	1.17	0.797	0.0624	0.1220	0.1530
165	28.5	7	326.42	34.165	24.6	565	0.0125	0.092	1.17	0.754	0.0663	0.1226	0.1626
165	28.5	7	313.76	32.840	27.7	585	0.0125	0.092	1.17	0.725	0.0683	0.1216	0.1677
165	28.5	7	278.84	29.185	30.8	650	0.0125	0.092	1.17	0.644	0.0759	0.1200	0.1864
165	28.5	7	248.94	26.056	40.1	700	0.0125	0.092	1.17	0.575	0.0809	0.1142	0.1986
165	28.5	7	179.04	18.740	86.6	800	0.0125	0.092	1.17	0.414	0.0875	0.0888	0.2147
165	28.5	7	89.66	9.384	117.6	930	0.0125	0.092	1.17	0.207	0.0996	0.0506	0.2445
165	28.5	7	0	0.000	148.6	950	0.0125	0.092	1.17	0.000	0.0983	0.0000	0.0000

Tabel C. 18 Data Putaran Turbin, *Coeffieicnt of Power*, *Coefficient of Moment*, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,8$ dengan bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$

RE 136000													
S/D 2.8													
Voltase	T (°C)	V (m/s)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	r (m)	A (m ²)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
165	28.5	7	513.9	53.788	0	0	0.0125	0.092	1.17	1.187	0.0000	0.0000	0.0000
165	28.5	7	428	44.797	6	290	0.0125	0.092	1.17	0.989	0.0348	0.0845	0.0855
165	28.5	7	420	43.960	9.1	320	0.0125	0.092	1.17	0.970	0.0381	0.0908	0.0936
165	28.5	7	410	42.913	12.2	350	0.0125	0.092	1.17	0.947	0.0414	0.0963	0.1017
165	28.5	7	403	42.181	15.3	370	0.0125	0.092	1.17	0.931	0.0435	0.0994	0.1068
165	28.5	7	387.98	40.609	18.4	410	0.0125	0.092	1.17	0.896	0.0480	0.1056	0.1179
165	28.5	7	366	38.308	21.5	460	0.0125	0.092	1.17	0.846	0.0538	0.1116	0.1320
165	28.5	7	346.14	36.229	24.6	500	0.0125	0.092	1.17	0.800	0.0583	0.1144	0.1431
165	28.5	7	330.04	34.544	27.7	540	0.0125	0.092	1.17	0.762	0.0628	0.1176	0.1542
165	28.5	7	315	32.970	37	580	0.0125	0.092	1.17	0.728	0.0666	0.1189	0.1634
165	28.5	7	301.72	31.580	52.5	615	0.0125	0.092	1.17	0.697	0.0690	0.1180	0.1693
165	28.5	7	277.6	29.055	83.5	670	0.0125	0.092	1.17	0.641	0.0719	0.1132	0.1765

165	28.5	7	130	13.607	114.5	800	0.0125	0.092	1.17	0.300	0.0841	0.0620	0.2063
165	28.5	7	50	5.233	145.5	950	0.0125	0.092	1.17	0.116	0.0987	0.0280	0.2421
165	28.5	7	0	0.000	176.5	980	0.0125	0.092	1.17	0.000	0.0985	0.0000	0.0000

Tabel C. 19 Data Putaran Turbin, *Coeffieicnt of Power*, *Coefficient of Moment*, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 0,9$ dengan bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$

RE 136000													
S/D 2.8													
Voltase	T (°C)	V (m/s)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	r (m)	A (m ²)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
165	28.5	7	514.84	53.887	0	0	0.0125	0.092	1.17	1.189	0.0000	0.0000	0.0000
165	28.5	7	481.2	50.366	6	180	0.0125	0.092	1.17	1.112	0.0213	0.0582	0.0524
165	28.5	7	469.8	49.172	9.1	210	0.0125	0.092	1.17	1.085	0.0246	0.0656	0.0605
165	28.5	7	463.2	48.482	12.2	235	0.0125	0.092	1.17	1.070	0.0273	0.0718	0.0671
165	28.5	7	451.1	47.215	15.3	270	0.0125	0.092	1.17	1.042	0.0312	0.0799	0.0767
165	28.5	7	439.1	45.959	18.4	300	0.0125	0.092	1.17	1.014	0.0345	0.0860	0.0848
165	28.5	7	430.7	45.080	21.5	320	0.0125	0.092	1.17	0.995	0.0366	0.0894	0.0898
165	28.5	7	421	44.065	24.6	340	0.0125	0.092	1.17	0.973	0.0387	0.0923	0.0949

165	28.5	7	415	43.437	27.7	360	0.0125	0.092	1.17	0.959	0.0407	0.0959	0.1000
165	28.5	7	408	42.704	30.8	380	0.0125	0.092	1.17	0.943	0.0428	0.0991	0.1051
165	28.5	7	400	41.867	33.9	400	0.0125	0.092	1.17	0.924	0.0449	0.1018	0.1102
165	28.5	7	390	40.820	37	420	0.0125	0.092	1.17	0.901	0.0470	0.1039	0.1153
165	28.5	7	378	39.564	40.1	450	0.0125	0.092	1.17	0.873	0.0503	0.1077	0.1234
165	28.5	7	360.04	37.684	43.2	490	0.0125	0.092	1.17	0.832	0.0548	0.1118	0.1345
165	28.5	7	336.4	35.210	46.3	530	0.0125	0.092	1.17	0.777	0.0593	0.1131	0.1456
165	28.5	7	320.02	33.495	55.6	560	0.0125	0.092	1.17	0.739	0.0619	0.1122	0.1518
165	28.5	7	276.1	28.898	71.1	630	0.0125	0.092	1.17	0.638	0.0685	0.1073	0.1682
165	28.5	7	240	25.120	102.1	700	0.0125	0.092	1.17	0.554	0.0733	0.0998	0.1799
165	28.5	7	170.3	17.825	133.1	810	0.0125	0.092	1.17	0.393	0.0830	0.0801	0.2037
165	28.5	7	123.2	12.895	164.1	900	0.0125	0.092	1.17	0.285	0.0902	0.0630	0.2215
165	28.5	7	67.3	7.044	195.1	990	0.0125	0.092	1.17	0.155	0.0975	0.0372	0.2392
165	28.5	7	0	0.000	226.1	1200	0.0125	0.092	1.17	0.000	0.1194	0.0000	0.0000

Tabel C. 20 Data Putaran Turbin, *Coeffieicnt of Power*, *Coefficient of Moment*, dan Torsi Statis Turbin Savonius Dengan Silinder Pengganggu pada $d/D = 1,0$ dengan bilangan Reynolds $13,6 \times 10^4$

RE 136000													
S/D 2.8													
Voltase	T (°C)	V (m/s)	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	r (m)	A (m ²)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	CM
165	28.5	7	510.04	53.384	0	0	0.0125	0.092	1.17	1.178	0.0000	0.0000	0.0000
165	28.5	7	481.6	50.407	6	180	0.0125	0.092	1.17	1.113	0.0213	0.0583	0.0524
165	28.5	7	446.42	46.725	9.1	300	0.0125	0.092	1.17	1.031	0.0357	0.0903	0.0875
165	28.5	7	433.24	45.346	12.2	330	0.0125	0.092	1.17	1.001	0.0390	0.0957	0.0956
165	28.5	7	422.42	44.213	15.3	350	0.0125	0.092	1.17	0.976	0.0410	0.0983	0.1007
165	28.5	7	411.84	43.106	18.4	370	0.0125	0.092	1.17	0.951	0.0431	0.1007	0.1058
165	28.5	7	396.32	41.481	21.5	400	0.0125	0.092	1.17	0.916	0.0464	0.1043	0.1139
165	28.5	7	388.58	40.671	24.6	415	0.0125	0.092	1.17	0.898	0.0479	0.1055	0.1175
165	28.5	7	379.12	39.681	27.7	435	0.0125	0.092	1.17	0.876	0.0499	0.1074	0.1226
165	28.5	7	369.3	38.653	30.8	455	0.0125	0.092	1.17	0.853	0.0520	0.1089	0.1277
165	28.5	7	359.7	37.649	33.9	470	0.0125	0.092	1.17	0.831	0.0535	0.1091	0.1312
165	28.5	7	354.24	37.077	37	480	0.0125	0.092	1.17	0.818	0.0543	0.1091	0.1333
165	28.5	7	351.22	36.761	40.1	490	0.0125	0.092	1.17	0.811	0.0552	0.1099	0.1354

165	28.5	7	330.22	34.563	43.2	510	0.0125	0.092	1.17	0.763	0.0572	0.1072	0.1405
165	28.5	7	312.9	32.750	46.3	525	0.0125	0.092	1.17	0.723	0.0587	0.1041	0.1441
165	28.5	7	289.22	30.272	49.4	550	0.0125	0.092	1.17	0.668	0.0614	0.1007	0.1507
165	28.5	7	271.1	28.375	52.5	560	0.0125	0.092	1.17	0.626	0.0622	0.0957	0.1527
165	28.5	7	228.82	23.950	61.8	580	0.0125	0.092	1.17	0.529	0.0635	0.0824	0.1560
165	28.5	7	194.42	20.349	71.1	600	0.0125	0.092	1.17	0.449	0.0649	0.0715	0.1592
165	28.5	7	153.58	16.075	86.6	640	0.0125	0.092	1.17	0.355	0.0679	0.0591	0.1666
165	28.5	7	116.56	12.200	117.6	710	0.0125	0.092	1.17	0.269	0.0726	0.0480	0.1783
165	28.5	7	83.875	8.779	148.6	790	0.0125	0.092	1.17	0.194	0.0787	0.0374	0.1930
165	28.5	7	52.84	5.531	179.6	900	0.0125	0.092	1.17	0.122	0.0883	0.0265	0.2168
165	28.5	7	36.5	3.820	210.6	1000	0.0125	0.092	1.17	0.084	0.0968	0.0200	0.2376
165	28.5	7	0	0.000	241.6	1100	0.0125	0.092	1.17	0.000	0.1053	0.0000	0.0000

D. Perhitungan Uncertainty
Uncertainty Luas (A)

$$A = L \times H$$

$$dA = \frac{\partial A}{\partial L} + \frac{\partial A}{\partial H}$$

$$dA = \frac{\partial(L \times H)}{\partial L} + \frac{\partial(L \times H)}{\partial H}$$

$$dA = H + L$$

$$u_{A,L} = \frac{\delta A, L}{A} = \frac{L}{A} \frac{\partial A}{\partial L} u_L = \frac{L}{(L \times H)} \cdot H \cdot u_L = u_L$$

$$u_{A,H} = \frac{\delta A, H}{A} = \frac{H}{A} \frac{\partial A}{\partial H} u_H = \frac{H}{(L \times H)} \cdot L \cdot u_H = u_H$$

$$u_A = \pm \{[u_L]^2 + [u_H]^2\}^{\frac{1}{2}}$$

$$u_A = \pm \{[1,618 \times 10^{-3}]^2 + [1,677 \times 10^{-3}]^2\}^{\frac{1}{2}}$$

$$u_A = \pm 2,33 \times 10^{-3}$$

$$u_A = \pm 0,23\%$$

Uncertainty Bilangan Reynolds (Re)

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

$$Re = \rho V L \mu^{-1}$$

$$dRe = \frac{\partial Re}{\partial \rho} + \frac{\partial Re}{\partial V} + \frac{\partial Re}{\partial L} + \frac{\partial Re}{\partial \mu}$$

$$u_{Re,\rho} = \frac{\delta Re, \rho}{Re} = \frac{\rho}{Re} \frac{\delta Re}{\delta \rho} u_\rho = \frac{\rho}{Re} (V L \mu^{-1}) u_\rho = u_\rho$$

$$\begin{aligned}
 u_{Re,V} &= \frac{\delta Re,V}{Re} = \frac{V}{Re} \frac{\delta Re}{\delta V} u_\rho = \frac{V}{Re} (\rho L \mu^{-1}) u_V = u_V \\
 u_{Re,L} &= \frac{\delta Re,L}{Re} = \frac{L}{Re} \frac{\delta Re}{\delta L} u_L = \frac{L}{Re} (\rho V \mu^{-1}) u_L = u_L \\
 u_{Re,\mu} &= \frac{\delta Re,\mu}{Re} = \frac{\mu}{Re} \frac{\delta Re}{\delta \mu} u_L = \frac{\mu}{Re} (-\mu^{-2} \rho V L) u_\mu = -u_\mu \\
 u_{Re} &= \pm \{u_\rho^2 + u_V^2 + u_L^2 + (-u_\mu)^2\}^{\frac{1}{2}} \\
 u_{Re} &= \pm \{ (3,51 \times 10^{-3})^2 + (2 \times 10^{-3})^2 + (1,618 \times \\
 &\quad 10^{-3})^2 + (-2,55 \times 10^{-3})^2 \}^{\frac{1}{2}} \\
 u_{Re} &= \pm 5,05 \times 10^{-3} \\
 u_{Re} &= \pm 0,50\%
 \end{aligned}$$

Uncertainty Torsi Dinamis (T_D)

$$T_D = (s-m) \times g \times r$$

$$dT_D = \frac{\partial T_D}{\partial (s-m)} + \frac{\partial T_D}{\partial r}$$

$$\begin{aligned}
 dU_{T_D,(s-m)} &= \frac{\delta T_D, (s-m)}{T_D} = \frac{(s-m)}{T_D} \frac{\partial T_D}{\partial (s-m)} U_{(s-m)} \\
 &= U_{(s-m)}
 \end{aligned}$$

$$U_{T_D,r} = \frac{\delta T_D,r}{T_D} = \frac{r}{T_D} \frac{\partial T_D}{\partial r} U_r = \frac{r}{((s-m) \times r)} \cdot (s-m) \cdot U_r = U_r$$

$$U_{T_D} = \pm \{ [U_{(s-m)}]^2 + [U_r]^2 \}^{\frac{1}{2}}$$

$$U_{T_D} = \pm \{[0,0203]^2 + [0.04]^2\}^{\frac{1}{2}}$$

$$U_{T_D} = \pm 4,486 \times 10^{-2}$$

$$U_{T_D} = \pm 4,49\%$$

Uncertainty Tip Speed Ratio (λ)

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

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

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

$$u_{\lambda, \omega} = \frac{\delta \lambda, \omega}{\lambda} = \frac{\omega}{\lambda} \frac{\partial \lambda}{\partial \omega} u_{\omega} = \frac{\omega}{\omega R V^{-1}} \cdot (R V^{-1}) \cdot u_{\omega} = u_{\omega}$$

$$u_{\lambda, R} = \frac{\delta \lambda, R}{\lambda} = \frac{R}{\lambda} \frac{\partial \lambda}{\partial R} u_R = \frac{R}{\omega R V^{-1}} \cdot (\omega V^{-1}) \cdot u_R = u_R$$

$$u_{\lambda, V} = \frac{\delta \lambda, V}{\lambda} = \frac{V}{\lambda} \frac{\partial \lambda}{\partial V} u_V = \frac{V}{\omega R V^{-1}} \cdot (-V^{-2} R \omega) \cdot u_V = u_V$$

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

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

$$u_{\lambda} = \pm \{[4,712 \times 10^{-4}]^2 + [3,236 \times 10^{-3}]^2 + [0,002]^2\}^{\frac{1}{2}}$$

$$u_{\lambda} = \pm 3,83 \times 10^{-3}$$

$$u_{\lambda} = \pm 0,38\%$$

Uncertainty Coefficient of Power (CoP)

$$\text{CoP} = \frac{T_d \omega}{\frac{1}{2} \rho A V^3}$$

$$\text{CoP} = \frac{2 T_d \omega}{\rho A V^3}$$

$$\text{CoP} = 2 T_d \omega \rho^{-1} V^{-3} A^{-1}$$

$$d\text{CoP} = \frac{\partial \text{CoP}}{\partial T_d} + \frac{\partial \text{CoP}}{\partial \omega} + \frac{\partial \text{CoP}}{\partial \rho} + \frac{\partial \text{CoP}}{\partial A} + \frac{\partial \text{CoP}}{\partial V}$$

$$u_{\text{CoP}, T_d} = \frac{T_d}{2 T_d \omega \rho^{-1} V^{-3} A^{-1}} (2 \omega \rho - 1 V - 3 A - 1) u_{T_d} = u_{T_d}$$

$$u_{\text{CoP}, \omega} = \frac{\omega}{2 T_d \omega \rho^{-1} V^{-3} A^{-1}} (2 T_d \rho - 1 V - 3 A - 1) u_{\omega} = u_{\omega}$$

$$u_{\text{CoP}, \rho} = \frac{\rho}{2 T_d \omega \rho^{-1} V^{-3} A^{-1}} (-2 T_d \omega \rho - 2 V - 3 A - 1) u_{\rho} = u_{\rho}$$

$$u_{\text{CoP}, A} = \frac{A}{2 T_d \omega \rho^{-1} V^{-3} A^{-1}} (-2 T_d \omega \rho - 1 V - 3 A - 2) u_A$$

$$= u_A$$

$$u_{\text{CoP}} = \pm \{ u_{T_d}^2 + u_{\omega}^2 + u_{\rho}^2 + 3u_V^2 + u_A^2 \}^{\frac{1}{2}}$$

$$u_{\text{CoP}} = \pm \{ 0.04486^2 + 0.00047^2 + 0.00351^2 +$$

$$(3 \times 0.002)^2 + 0.00233^2 \}^{\frac{1}{2}}$$

$$u_{\text{CoP}} = \pm 0,04546 \pm 4,55\%$$

Uncertainty Coefficient of Moment (CM)

$$\text{CM} = \frac{T_D}{\frac{1}{2} \rho A v^2 R}$$

$$CM = 2T_D \rho^{-1} A^{-1} v^{-2} R^{-1}$$

$$dCm = \frac{\partial C_m}{\partial T_D} + \frac{\partial C_m}{\partial \rho} + \frac{\partial C_m}{\partial A} + \frac{\partial C_m}{\partial v} + \frac{\partial C_m}{\partial v} + \frac{\partial C_m}{\partial R}$$

$$u_{Cm, T_D} = \frac{\delta C_{m, T_D}}{C_m} = \frac{T_D}{C_m} \frac{\delta C_m}{\delta T_D} u_{T_D} = u_{T_D}$$

$$u_{Cm, \rho} = \frac{\delta C_{m, \rho}}{C_m} = \frac{\rho}{C_m} \frac{\delta C_m}{\delta \rho} u_{\rho} = -u_{\rho}$$

$$u_{Cm, A} = \frac{\delta C_{m, A}}{C_m} = \frac{A}{C_m} \frac{\delta C_m}{\delta A} u_A = -u_A$$

$$u_{Cm, v} = \frac{\delta C_{m, v}}{C_m} = \frac{v}{C_m} \frac{\delta C_m}{\delta v} u_v = -2u_v$$

$$u_{CM} = \pm \{ u_{T_D}^2 + u_{\rho}^2 + 2u_v^2 + u_A^2 \}^{\frac{1}{2}}$$

$$u_{CM} = \pm \{ (0,04486)^2 + (0,00351)^2 + (2 \times 0,002)^2 + (0,00233)^2 \}^{\frac{1}{2}}$$

$$u_{CM} = \pm 0,0456 = \pm 4,56\%$$

BIODATA PENULIS



Hilda Mailil Haq merupakan anak ketiga dari pasangan Herwanto dan Ema Herawati. Penulis lahir di Depok pada tanggal 26 Juni 1997, menempuh pendidikan di SMP dan SMA Islam Nurul Fikri Boarding School Anyer dan lulus tahun 2015. Penulis melanjutkan ke jenjang perguruan tinggi di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya mulai tahun 2015 melalui jalur SNMPTN.

Semasa kuliah penulis aktif dalam seluruh kegiatan akademik maupun non akademik. Dalam bidang organisasi, penulis aktif sebagai staf Departemen UMUM HMM FTI-ITS di tahun 2016-2017. Dan pada tahun 2017-2018, penulis menjabatmen UMUM di HMM FTI-ITS.

Apabila terdapat pesan atau informasi yang hendak disampaikan dapat melalui email: hildamhq@gmail.com