

Studi Eksperimen Pengaruh Instalasi Silinder Sirkular di Depan Susu Returning terhadap Kinerja Turbin Angin Savonius

Andika Rizki Fadhila dan Tri Yogi Yuwono

Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: triyogi@me.its.ac.id

Abstrak—Pertumbuhan penduduk Indonesia tiap taunnya meningkat begitupun kebutuhan akan energi. Peningkatan kebutuhan energi ini pun menjadi tantangan bagi Indonesia dan mendorong Pemerintah untuk meningkatkan peran energi baru. Berdasarkan data Dewan Energi Nasional dan Rencana Umum Energi Nasional, Indonesia memiliki potensi tenaga angin sebesar 60.647 MW dengan kondisi kecepatan angin 3-6 m/s. Dengan kecepatan angin yang terbilang rendah di Indonesia ini maka turbin angin yang cocok untuk dipakai adalah turbin angin Savonius. Tetapi turbin angin Savonius ini memiliki kekurangan dibandingkan dengan turbin angin jenis lainnya, yaitu turbin angin Savonius memiliki efisiensi yang rendah. Maka dilakukannya penelitian ini untuk meningkatkan efisiensi dari turbin angin Savonius dengan cara meletakkan silinder pengganggu di depan *returning blade*. Studi Eksperimen ini menggunakan turbin angin Savonius yang memiliki dua sudu yaitu *advancing blade* dan *returning blade*. Ukuran dari diameter sudu (D) yang digunakan yaitu 167 mm, tinggi turbin (H) 298 mm, diameter poros (b) 19 mm, dan diameter end plate (D) 321 mm. selain itu untuk silinder pengganggu, digunakan silinder dengan diameter (d) 33,4 mm dan tinggi (h) 500 mm yang diletakan didepan *returning blade* dengan rasio jarak titik pusat turbin dan titik pusat silinder pengganggu terhadap diameter sudu turbin (S/D) adalah 2,1. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa Turbin Savonius dengan silinder pengganggu didepan *returning blade* pada kecepatan angin 6 m/s paling efektif dalam meningkatkan *Coefficient of Power* dan *Coefficient of Moment*, dengan didaptnkan peningkatan sebesar 29,46% dan 16,67%. Penambahan silinder pengganggu juga mampu menyebabkan turbin angin Savonius mempunyai kemampuan *selfstarting* pada kecepatan 10 m/s di semua posisi sudu.

Kata Kunci—Turbin Savonius, Silinder Pengganggu, *Coefficient of Power*, *Coefficient of Moment*.

I. PENDAHULUAN

PERTUMBUHAN penduduk Indonesia tiap taunnya meningkat begitupun kebutuhan akan energi. Peningkatan kebutuhan energi ini pun menjadi tantangan bagi Indonesia dan mendorong Pemerintah untuk meningkatkan peran energi baru. Sesuai PP No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, target bauran energi baru dan terbarukan pada tahun 2025 paling sedikit 23% dan 31% pada tahun 2050. Indonesia memiliki potensi Pertumbuhan penduduk Indonesia tiap taunnya meningkat begitupun kebutuhan akan energienergi baru dan terbarukan yang cukup besar, salah satunya energi angin. Berdasarkan data Dewan Energi Nasional dan Rencana Umum Energi Nasional, Indonesia memiliki potensi tenaga angin sebesar 60.647 MW dengan kondisi kecepatan angin 3-6 m/s [1]. Dengan kecepatan angin yang terbilang rendah di Indonesia ini maka

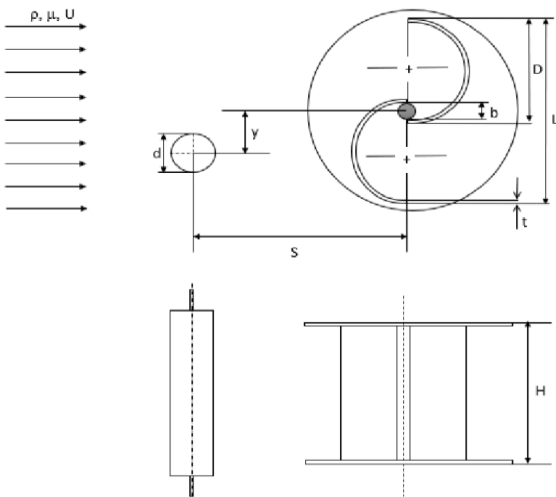
turbin angin yang cocok untuk dipakai adalah turbin angin Savonius. Tetapi turbin angin Savonius ini memiliki kekurangan dibandingkan dengan turbin angin jenis lainnya, yaitu turbin angin Savonius memiliki efisiensi yang rendah. Maka dilakukannya penelitian ini untuk meningkatkan efisiensi dari turbin angin Savonius dengan cara meletakkan silinder pengganggu di depan *returning blade*.

Kelebihan dari turbin angin Savonius maka banyak dari peneliti untuk melakukan riset terhadap peningkatan performa dari turbin angin Savonius diantaranya dari penelitian yang melakukan eksperimen meningkatkan performa dari turbin angin Savonius berdasarkan dari perbedaan geometri dari turbin. Ada beberapa parameter yang digunakan dalam eksperimen ini, yaitu jumlah sudu turbin (dua, tiga, dan empat sudu), jumlah stages (*single* dan *double stages*), *overlap ratio* (0 hingga 0,35), *aspect ratio* (0,5; 1; 2; 4; dan 5), dan adanya *end plate* atau tidak. Pada eksperimen ini rentang kecepatan angin yang keluar dari *wind tunnel* adalah 0-13 m/s. kesimpulan dari penelitian ini adalah performa paling baik adalah Ketika digunakannya 2 sudu turbin, *double stages*, tidak ada *overlap ratio*, *aspect ratio* sebesar 5, dan dengan digunakannya *end plate* [2].

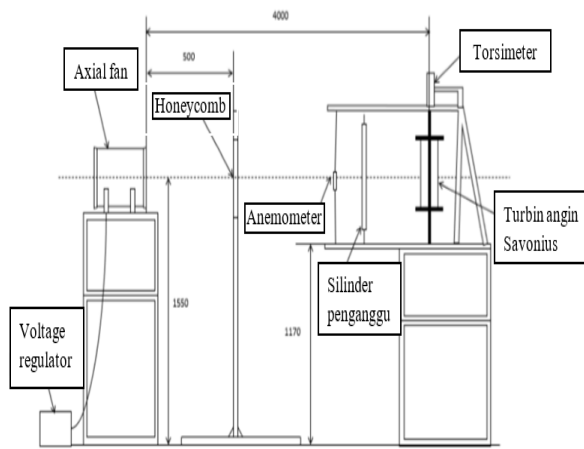
Kemudian penelitian yang menggunakan silinder pengganggu yang diletakan di depan silinder utama. Silinder pengganggu yang digunakan (d) sebesar 1– 10 mm dan silinder utama (D) sebesar 40 mm. jarak antara pusat silinder utama dan pusat silinder pengganggu (L) adalah 50 – 120 mm. bilangan Reynold berdasarkan D adalah $1,5 \times 10^4$ sampai $6,2 \times 10^4$ dan digunakannya variasi d/D dan L/D. hasil yang didapat dari penilitian ini adalah penurunan *pressure drag coefficient* (CD) berbanding terbalik dengan bilangan Reynolds dan d/D berbarengan dengan penurunan L/D [3].

Lalu penelitian tentang peletakan silinder pengganggu didepan silinder sirkular utama terhadap gaya *drag* yang tereduksi. Silinder pengganggu yang digunakan adalah silinder tipe-I dengan sudut iris $\theta = 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 53^\circ, \text{ dan } 65^\circ$ dengan jarak S/d = 1,375. Kesimpulan dari penelitian ini yaitu pengurangan koofisien drag silinder sirkular utama dengan menempatkan silinder pengganggu tipe-I 65° hingga bisa memindahkan titik separasi kebelakang. Besarnya pengurangan gaya drag yang dihasilkan hingga mencapai 52% dibandingkan dengan gaya drag silinder tunggal [4].

Penelitian tentang peletakan silinder pengganggu tipe-I 65° didepan *returning blade* yang gunanya untuk menurunkan nilai gaya *drag* pada *returning blade*. Performa dari turbin angin dihitung dengan eksperimen dan numerik dalam dua



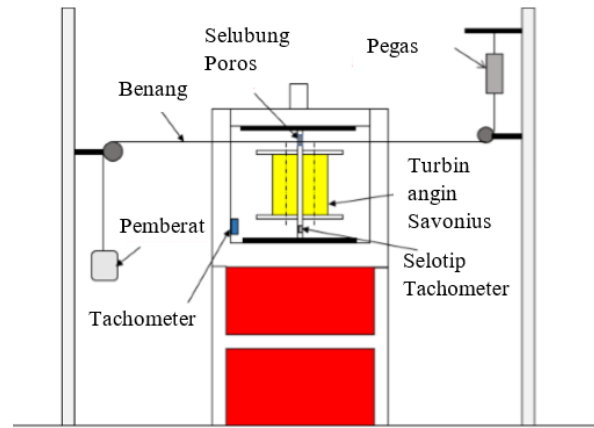
Gambar 1. Skema penelitian turbin angin Savonius.



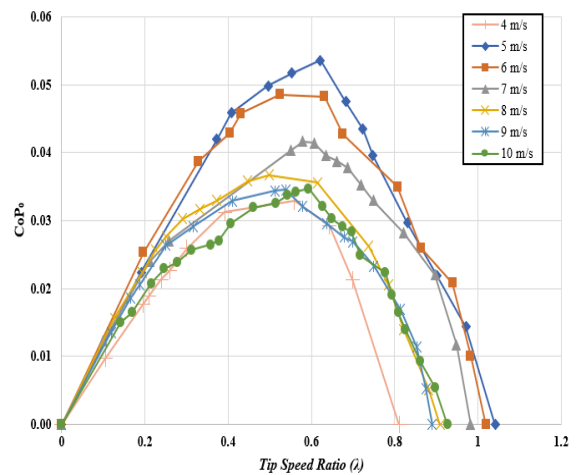
Gambar 2. Skema susudan dimensi peralatan penelitian.

kondisi, yaitu dengan penggunaan silinder pengganggu dan tidak menggunakan silinder pengganggu didepan *returning blade*. Penelitian ini menggunakan bilangan Reynold $Re = 9,9 \times 10^4$ dengan kecepatan udara (U) 5 m/s dan panjang karakteristik $L = 2D - b$. Silinder pengganggu yang mempunyai diameter 0,5D, dipasang didepan *returning blade* sejauh 1.4D. dan penelitian numerik, simulasi 3D dilakukan untuk menganalisa turbin angin dengan *software* Ansys fluent versi 19.1. Hasil dari penelitian ini adalah dengan pemasangan silinder pengganggu tipe I-65° didepan *returning blade* akan menambah C_p dari turbin angin Savonius sebesar 23.6% dibandingkan dengan tidak dipasangnya silinder pengganggu tipe I-65° [5].

penelitian mengenai eksperimen mengenai performa turbin angin Savonius yang diberikan silinder sirkular di sisi *upstream* dari *returning blade*. Eksperimen ini menggunakan $Re = 99.000$. diameter silinder sirkular terhadap *blade* $d/D = 0,54$ di letakan dengan jarak antara silinder sirkular dan diameter *returning blade* S/D dari 1,4 hingga 2,2. Hasil dari penelitian ini adalah $C_{p_{max}}/C_{p0_{max}}$ terbesar dengan nilai 1,122 pada $S/D = 1,4$ yang menunjukkan bahwa kenaikan koefisien daya terbesar ketika silinder pengganggu diletakan didepan *returning blade* pada jarak $S/D=1,4$. penempatan silinder pengganggu didepan *returning blade* dengan jarak jarak $S/D = 1,4$ dan 1,6 efektif dalam meningkatkan kemampuat turbin angin Savonius untuk *self starting* [6]. Penilitan berupa studi Eksperimen Peningkatan Kinerja Turbin Angin Savonius dengan Penempatan Silinder Sirkular di Depan *Returning*



Gambar 3. Pemasangan Brake Dynamometer.



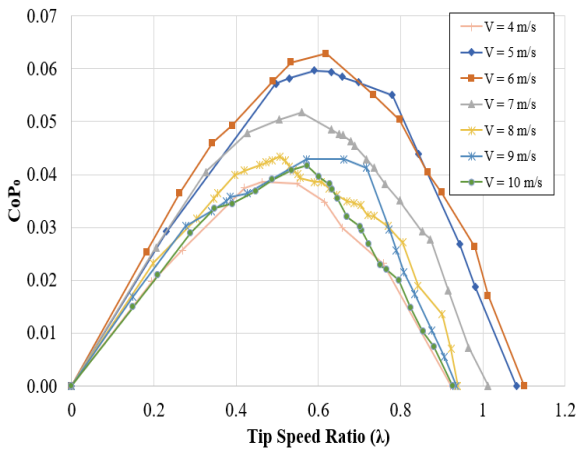
Gambar 4. Grafik Coefficient of Power Turbin Angin Savonius tanpa Silinder Pengganggu sebagai fungsi Tip Speed Ratio pada masing – masing kecepatan.

Blade Turbin. Tujuan penelitian ini adalah untuk meningkatkan performa dari turbin Savonius dengan memberi silinder pengganggu di depan *returning blade*. Penelitian dilakukan dengan variasi jarak silinder pengganggu terhadap *returning blade* (S/D) = 1,8; 2,0; 2,2; 2,4; 2,6 pada bilangan Reynolds $9,6 \times 10^4$; $13,4 \times 10^4$; $17,3 \times 10^4$. Hasil dari penelitian ini adalah pada variasi kecepatan Reynolds $9,7 \times 10^4$ dan S/D 1,8 merupakan peningkatan terbaik sebesar 46,38% [7].

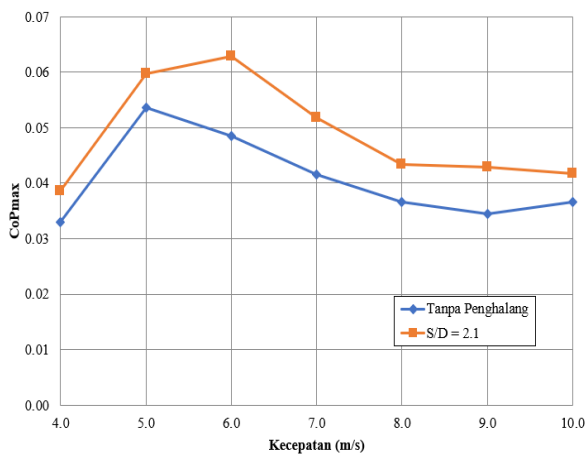
Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan diatas bahwa penelitian dalam meningkatkan performa turbin angi Savonius masih perlu dilakukan hingga mencapai hasil yang optimal. Penelitian yang diusulkan pada Tugas Akhir kali ini adalah upaya peningkatan performa turbin angin Savonius dengan cara menempatkan silinder pengganggu didepan *returning blade* dengan memvariasikan kecepatan aliran udara yaitu yaitu 3; 4; 5; 6; 7; dan 9 (m/s) dengan rasio diameter silinder $d/D = 0,5$ yang diletakkan pada jarak $S/D = 2,1$ dan $y/D=0,5$. Oleh karena itu, penelitian ini penting untuk dilakukan.

II. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, analisa dimensi digunakan untuk mengetahui parameter yang berpengaruh pada performa turbin angin Savonius. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan jarak antara pusat *returning blade* dengan pusat silinder dan juga kecepatan angin (U). Ada parameter



Gambar 5. Grafik Coefficient of Power Turbin Angin Savonius dengan Silinder Pengganggu sebagai fungsi Tip Speed Ratio pada masing – masing kecepatan.



Gambar 6. Grafik CoP dengan pengganggu terhadap Tip Speed Ratio pada seluruh variasi kecepatan.

lainnya yang mempengaruhi performa turbin angin Savonius yaitu massa jenis udara (ρ), viskositas udara (μ), diameter blade (D), dan diameter silinder pengganggu (d). beberapa parameter bisa dilihat pada gambar 1.

Dimana:

- ρ : massa jenis udara (kg/m^3)
- μ : viskositas udara (Ns/m^2)
- U : kecepatan aliran udara (m/s)
- S : jarak antara pusat silinder pengganggu terhadap pusat *returning blade* (m)
- H : tinggi turbin angin Savonius (m)
- b : diameter poros (m)
- d : diameter silinder pengganggu (m)
- D : diameter sudu turbin Savonius
- t : tebal sudu turbin (m)
- y : jarak antara titik pusat silinder terhadap proyeksi titik pusat turbin Savonius (m)
- ω : kecepatan putar sudu turbin Savonius (rad/s)

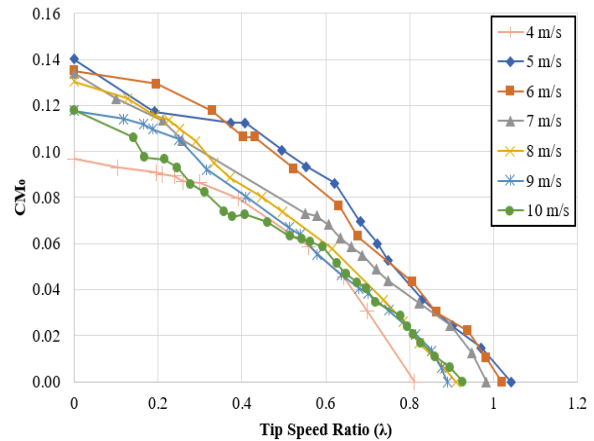
A. Skema Eksperimen

- Jarak *axial fan* dengan turbin : 4000 mm
- Jarak *Honeycomb* dengan turbin : 500 mm

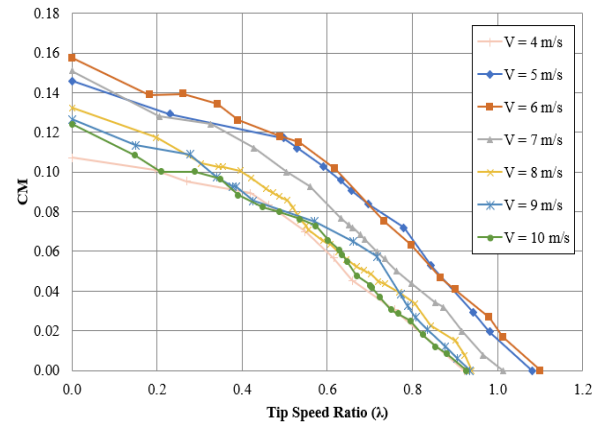
B. Benda Uji

1) Turbin an gin Savonius

Turbin angin Savonius yang digunakan memiliki dimensi



Gambar 7. Grafik Cm tanpa pengganggu terhadap Tip Speed Ratio pada seluruh variasi kecepatan.



Gambar 8. Grafik Cm dengan pengganggu terhadap Tip Speed Ratio pada seluruh variasi kecepatan.

sebagai berikut:

1. Diameter sudu turbin (D) : 165,2
2. Tinggi turbin (H) : 294,4 mm
3. Diameter turbin (2D-b-2t) : 321 mm
4. Diameter poros (b) : 19 mm
5. Diameter *end plate* : 321 mm
6. Tebal *end plate* : 1 mm
7. Tebal sudu turbin : 4 mm
8. Material Sudu Turbin : Pipa PVC
9. Material Endplate : Aluminium Cladding

2) Silinder penghalang

Silinder penghalang yang digunakan memiliki dimensi sebagai berikut:

1. Diamoeter (d) : 33,4 mm
2. Jarak dari pusat *returning blade* : 2,1
3. Material Silinder Pengganggu : PVC *schedule 40*

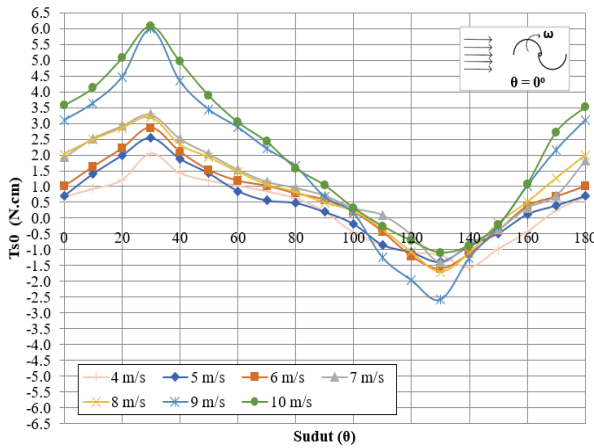
C. Alat Ukur

1) Tachometer

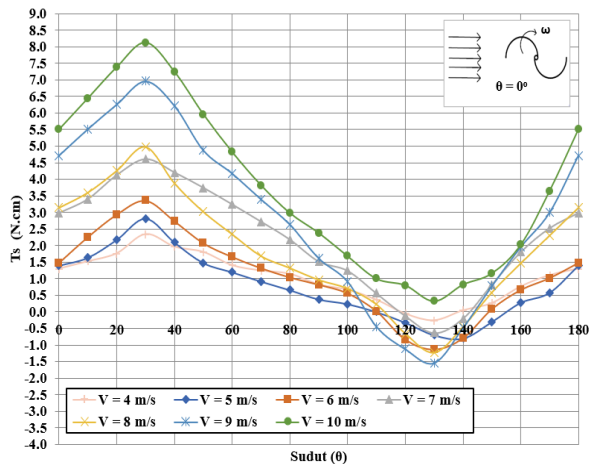
Tachometer adalah alat ukur digital yang memiliki fungsi untuk mengukur kecepatan rotasi dari sebuah objek yang berputar. *Tachometer* yang digunakan pada penelitain ini adalah *tachometer* dengan tipe **Economical Non-Contact Pocket Optical Tachometer OMEGA seri HHT12**

2) Torquemeter

Torque meter merupakan alat ukur digital yang memiliki fungsi untuk mengukur torsi statis dari suatu poros. Torque



Gambar 9. Grafik Torsi Statis tanpa silinder pengganggu (T_{s0}) sebagai fungsi posisi angular sudut (θ).



Gambar 10. Grafik Torsi Statis dengan silinder pengganggu (T_s) sebagai fungsi posisi angular sudut (θ).

meter yang digunakan pada penelitian adalah **Torque meter LUTRON model TQ-8800** dengan high resolution 0,1 N-cm

3) Anemometer

Anemometer adalah alat ukur yang memiliki fungsi untuk mengukur kecepatan angin. Selain untuk mengukur kecepatan angin, anemometer ini juga dapat digunakan untuk mengukur suhu udara. Anemometer ini menggunakan satuan ft/min, mph, knots, m/s, dan km/h untuk mengukur kecepatan angin dan °C dan F untuk mengukur suhu. Pada penelitian ini digunakan anemometer dengan tipe **Omega HHF141 Digital Anemometer**

D. Metode Pengukuran Daya

Gambar 2 menunjukkan skema dan instalasi peralatan pada eksperimen ini. Turbin angin Savonius di letakkan di depan axial fan dengan jarak 4m. Pengukuran kecepatan angin menggunakan anemometer dilakukan pada jarak 4D di depan turbin angin Savonius. Hal ini dilakukan untuk menghindari efek putaran balik dari sudu turbin angin Savonius

Untuk mengukur daya aktual pada penelitian ini menggunakan mekanisme *brake dynamometer* seperti pada gambar 3. Pengukuran dilakukan pada saat turbin angin Savonius sedang berputar, kemudian ditambah beban berupa anak timbangan sampai turbin berhenti berputar. Selanjutnya dimasukkan ke dalam persamaan berikut:

$$T_d = |m - s|.g \times r \tag{1}$$

dimana:

s : massa yang terbaca pada neraca pegas (kgf)

m : massa pemberat (Kg)

g : gaya gravitasi (m/s^2)

r : jari-jari silinder yang menerima beban (m)

Coefficient of Power (CoP) dengan menggunakan persamaan

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

Dengan T_d merupakan torsi turbin angin Savonius, ω merupakan putaran poros, ρ merupakan densitas udara, V adalah kecepatan udara, dan A luasan yang terkena udara. Persamaan A adalah:

$$A = L \times H \tag{3}$$

dengan

$$L = (2D - b - 2x) \tag{4}$$

Maka,

$$L = (2D - b - 2x) \times H \tag{5}$$

Untuk persamaan *tip speed ratio* (λ) adalah sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{V} \tag{6}$$

ω adalah putaran poros dalam Rad/s, R adalah jari jari turbin dalam meter (m) dan V merupakan kecepatan *freestream* dalam m/s. Persamaan *Coefficient of Moment* (C_m) adalah sebagai berikut:

$$C_m = \frac{CoP}{\lambda} \tag{7}$$

Data penelitian yang akan didapatkan adalah grafik CoP terhadap *tip speed ratio* (λ), grafik C_m terhadap *tip speed ratio* (λ) dan grafik Torsi Statis terhadap sudut angular turbin θ .

III. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

A. Analisa *Coefficient of Power (CoP)*

Pada penelitian ini dilakukan analisa terhadap *Coefficient of Power (CoP)* turbin angin Savonius dengan membandingkan daya mekanik yang dihasilkan oleh turbin angin terhadap gaya kinetik dari angin yang digunakan. Daya mekanik yang dihasilkan oleh turbin adalah perkalian antara torsi dinamis dengan kecepatan sudut turbin angin Savonius. Pengukuran torsi dinamis dilakukan dengan menggunakan *brake dynamometer*. Hasil penelitian ditampilkan dalam bentuk grafik seperti pada gambar 4-6. Yang menunjukkan nilai CoP turbin angin Savonius fungsi kecepatan angin mempunyai bentuk grafik parabolik yang akan naik sampai CoP maksimum pada kecepatan angin tertentu dan akan turun setelah mencapai titik maksimumnya. Berdasarkan trendline grafik C_0P_0 terhadap nilai tip speed ratio, dapat disimpulkan bahwa setiap variasi nilai tip speed ratio memiliki nilai optimum, dimana jika melewati nilai tersebut justru akan menurunkan nilai C_0P_0 . Berdasarkan penelitian didapatkan titik optimum berada pada kecepatan 5 m/s dimana nilai C_0P_0 akan meningkat sampai pada

kecepatan 5 m/s dan setelah melewati kecepatan optimum, nilai C_{oP_0} akan mengalami penurunan sampai 10 m/s. Hal ini disebabkan pada kecepatan aliran fluida tinggi, turbin angin Savonius kurang dapat bekerja efektif. Didapatkan performa terbaik pada kecepatan angin 5 m/s dengan nilai *Coefficient of Power* C_{oP_0} optimum sebesar 0,535 pada *Tip Speed Ratio* (λ) optimum 0,621.

Berdasarkan gambar 5 menunjukkan bahwa *trendline* grafik *Coefficient of Power* (CoP) terhadap *Tip Speed Ratio* (λ) dengan pengganggu memiliki bentuk yang terbentuk adalah parabolik. Didapatkan nilai *Coefficient of Power* (CoP) tertinggi dengan silinder pengganggu pada seluruh variasi kecepatan tersebut didapatkan pada kecepatan 6 m/s dengan nilai *Coefficient of Power* sebesar 0,0628 pada *Tip Speed Ratio* sebesar 0,619. Sehingga pada kecepatan 6 m/s mempunyai peningkatan *Coefficient of Power* sebesar 0,0143 atau sebesar 29,46%.

Pada gambar 6 dapat dilihat bahwa penggunaan silinder pengganggu $S/D = 2,1$ efektif dalam meningkatkan *Coefficient of Power* pada seluruh variasi kecepatan angin. Dapat dikatakan bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,1$ efektif mengurangi tekanan di depan *returning blade*. Selisih tekanan di depan dan di belakang *returning blade* menurun, gaya *drag* pada *returning blade* menurun, selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat dan C_{oP} turbin meningkat pula. Selain itu pemberian silinder pengganggu pada $S/D = 2,1$ menyebabkan *boundary layer* pada *returning blade* turbin terganggu, sehingga semakin cepatnya transisi aliran dari laminar menuju turbulen yang menyebabkan kemampuan aliran untuk melawan gaya gesek dan *adverse pressure gradient* semakin besar. Hal ini membuat titik separasi mundur sehingga *wake* yang terbentuk mengecil dan menyebabkan gaya *drag* pada *returning blade* menurun dan selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat. Oleh sebab itu, torsi dan *Coefficient of Performance* turbin meningkat

B. Analisa *Coefficient of Moment* Turbin Angin Savonius

Analisa *Coefficient of Moment* (Cm) dilakukan dengan cara membandingkan hasil dari torsi dinamis yang dihasilkan oleh turbin angin dengan torsi teoritis dari angin. Pengukuran torsi dinamis dilakukan dengan menggunakan *brake dynamometer*. Nilai dari *Coefficient of Moment* berhubungan dengan *Coefficient of Power* dan *Tip speed Ratio*. Hasil dari penelitian ditampilkan dalam bentuk grafik pada gambar 7 dan 8.

Berdasarkan gambar 7, dapat dilihat bahwa nilai *Coefficient of Moment* (Cm) mengalami penurunan seiring meningkatnya nilai TSR. Nilai *Coefficient of Moment* (Cm₀) maksimum disetiap kecepatan angin didapat saat Torsi dinamis bernilai maksimum yaitu pada saat turbin angin Savonius berhenti. Dari gambar 7 dapat dilihat bahwa nilai Cm₀ maksimum tertinggi terdapat pada kecepatan 5 m/s yaitu sebesar 0,14 pada $\lambda = 0$

Trendline Cm yang turun seiring bertambahnya nilai *Tip Speed Ratio* terjadi dikarenakan pada saat TSR semakin besar maka putaran turbin semakin besar pula, ini dikarenakan semakin kecil beban yang diberikan yang berarti beban pengereman semakin rendah $|m - s|$ semakin kecil, yang membuat T_a semakin kecil, sehingga ketika TSR meningkat,

selisih s dan m menurun, nilai torsi dinamis menurun, dan nilai Cm₀ menurun.

Berdasarkan gambar 8 dapat dilihat bahwa *Coefficient of Moment* (Cm) mengalami kenaikan jika diberikan silinder pengganggu pada seluruh variasi kecepatan angin. Dapat dilihat bahwa peningkatan nilai Cm tertinggi terletak pada kecepatan 6 m/s pada $\lambda = 0$ dengan kenaikan nilai Cm sebesar 16,67% dari nilai Cm turbin tanpa pengganggu. Dapat dikatakan bahwa pemberian silinder pengganggu pada posisi $S/D = 2,1$ efektif mengurangi tekanan di depan *returning blade*. Selisih tekanan di depan dan di belakang *returning blade* akan menurun sehingga *pressure drag* pada *returning blade* menurun, gaya *drag* pada *returning blade* menurun, selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat, dan Cm turbin meningkat pula. Selain itu, pemberian silinder pengganggu pada $S/D = 2,1$ menyebabkan *boundary layer* pada *returning blade* turbin terganggu, sehingga semakin cepatnya transisi aliran dari laminar menuju turbulen yang menyebabkan kemampuan aliran untuk melawan gaya gesek dan *adverse pressure gradient* semakin besar. Hal ini membuat titik separasi mundur sehingga *wake* yang terbentuk mengecil yang menyebabkan *drag* pada *returning blade* menurun dan selisih gaya *drag* kedua sudu turbin meningkat. Oleh sebab itu, torsi dan *Coefficient of Moment* turbin angin meningkat.

C. Analisa Torsi Statis Turbin Angin Savonius

Pada penelitian ini didapatkan data berupa nilai torsi statis (T_s) terhadap sudut (θ) pada kecepatan angin 4-10 (m/s). Untuk mendapatkan nilai torsi statis digunakan alat ukur yaitu *torquemeter*. Pengambilan data dilakukan pada saat turbin dalam kondisi diam yaitu dengan dicengkram pada bagian poros atas turbin, kemudian dialiri udara pada bilangan pada kecepatan angin 4 - 10 (m/s). Torsi statis yang diukur pada penelitian ini yaitu torsi pada saat blade dari turbin ini berada mulai pada posisi angular sudu 0° searah dengan aliran udara sampai dengan posisi angular sudu 180° dengan kenaikan 10° . grafik torsi statis turbin tanpa silinder pengganggu (T_{s_0}) fungsi sudut (θ) pada masing-masing bilangan Reynolds seperti pada gambar 9.

Berdasarkan gambar 9 Dapat dilihat bahwa grafik Torsi Statis untuk kecepatan angin 4 m/s memiliki *trendline* berbentuk sinusoidal, di mana nilai Torsi Statis mengalami peningkatan hingga sudut 30° lalu mengalami penurunan hingga sudut 140° dan mengalami peningkatan kembali hingga sudut 180° . Grafik Torsi Statis untuk kecepatan angin 5, 6, 7, 8, 9, 10 (m/s) memiliki *trendline* berbentuk sinusoidal, di mana nilai Torsi Statis mengalami peningkatan hingga sudut 30° lalu mengalami penurunan hingga sudut 130° dan mengalami peningkatan kembali hingga sudut 180° . Torsi statis maksimum tertinggi terjadi pada saat kecepatan angin 10 m/s dan minimum pada kecepatan angin 9 m/s. Peningkatan nilai torsi statis ini diakibatkan oleh meningkatnya kecepatan aliran udara. Peningkatan kecepatan aliran udara yang melewati turbin angin Savonius menyebabkan selisih gaya *drag* pada *blade* turbin angin meningkat. Semakin besar nilai selisih gaya *drag* antara *blade* akan menyebabkan nilai torsi statis turbin angin meningkat. Pada penelitian ini didapatkan nilai torsi dengan harga negatif yang berarti turbin angin Savonius pada sudut tertentu tidak

memiliki kemampuan *self starting* sehingga pada sudut tertentu turbin angin Savonius membutuhkan torsi awal untuk berputar.

Pada penelitian ini didapatkan bahwa turbin angin Savonius mempunyai nilai torsi statis terbesar pada sudut 30° untuk seluruh kecepatan angin. Hal ini disebabkan mampu mengarahkan aliran fluida menuju sisi advancing blade sehingga gaya drag pada advancing blade naik. Sedangkan nilai torsi statis negatif terbesar pada sudut 130° untuk kecepatan angin $V = 3, 5, 6, 7, 8, 9$, dan 10 m/s dan 6 m/s serta sudut 140° untuk $V = 4$ m/s, hal ini disebabkan pada posisi angular sudu 140° dan 130° dapat menghambat aliran fluida menuju sisi returning blade.

Pada hasil yang didapatkan bisa dilihat pada gambar 9 bahwa Torsi Statis maksimum pada seluruh kecepatan didapatkan pada Sudu 30° . Menurut penelitian yang dilakukan sebelumnya [5] bahwa pada sudut 30° aliran pada returning blade hanya mempunyai satu titik separasi yaitu pada aliran yang menuju tepi turbin dan tidak terjadi separasi pada aliran yang menuju poros turbin. Pada sudut 90° yang mempunyai dua titik separasi yaitu pada aliran yang menuju tepi turbin dan poros turbin. Separasi yang terjadi pada aliran menuju poros turbin akan membentuk wake yang akan membentuk area bertekanan rendah di depan returning blade.

Dapat dilihat pada gambar 10 bahwa penggunaan silinder pengganggu pada jarak $S/D = 2,1$ untuk seluruh variasi kecepatan angin efektif dalam meningkatkan nilai torsi statis. Kenaikan nilai torsi statis setelah diberi pengganggu ini menyebabkan turbin Savonius memiliki kemampuan *self starting* yang lebih baik dibandingkan turbin angin Savonius tanpa pengganggu. Pada kecepatan 10 m/s torsi statis bernilai positif di setiap posisi sudu yang menunjukkan kemampuan *self starting* pada semua posisi angular sudu.

IV. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Penempatan silinder pengganggu $d/D = 0,2$ di depan returning blade turbin pada posisi $S/D = 2,1$ efektif meningkatkan performa turbin angin Savonius. Hal ini dibuktikan dengan terjadinya peningkatan nilai *Coefficient of*

Power maksimum dan *Coefficient of Moment* turbin untuk semua variasi kecepatan angin Savonius.

Penempatan silinder pengganggu $d/D = 0,2$ di depan returning blade turbin pada posisi $S/D = 2,1$ dan kecepatan angin 6 m/s memiliki peningkatan nilai *Coefficient of Power* terbesar turbin, yaitu sebesar $29,46\%$. Penempatan silinder pengganggu $d/D = 0,2$ di depan returning blade turbin pada posisi $S/D = 2,1$ dan kecepatan angin 6 m/s memiliki peningkatan nilai *Coefficient of Moment* terbesar turbin, yaitu sebesar $16,67\%$.

Penempatan silinder pengganggu di depan returning blade turbin pada posisi $S/D = 2,1$ efektif meningkatkan kemampuan *self starting* turbin pada kecepatan angin 4 m/s hingga 10 m/s, dibuktikan dengan nilai torsi statis yang cenderung semakin mendekati nol dibandingkan turbin tanpa menggunakan silinder pengganggu dan pada kecepatan 10 m/s torsi statis bernilai positif di setiap posisi sudu yang menunjukkan kemampuan *self starting* pada semua posisi angular sudu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. P. dan P. T. (BPPT), *Outlook Energi Indonesia 2019 "Energi Berkelanjutan untuk Transportasi Darat"*. Jakarta: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), 2019.
- [2] N. H. Mahmoud, A. A. El-Haroun, E. Wahba, and M. H. Nasef, "An experimental study on improvement of Savonius rotor performance," *Alexandria Eng. J.*, vol. 51, no. 1, pp. 19–25, 2012, doi: 10.1016/j.aej.2012.07.003.
- [3] T. Tsutsui and T. Igarashi, "Drag reduction of a circular cylinder in an air-stream," *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, vol. 90, no. 4–5, pp. 527–541, 2002, doi: 10.1016/S0167-6105(01)00199-4.
- [4] Y. Triyogi, D. Suprayogi, and E. Spirda, "Reducing the drag on a circular cylinder by upstream installation of an I-type bluff body as passive control," *J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 223, no. 10, pp. 2291–2296, 2009.
- [5] G. Sakti, T. Yuwono, and W. A. Widodo, "Experimental and numerical investigation of I-65° type cylinder effect on the savonius wind turbine performance," *Int. J. Mech. Mechatronics Eng.*, vol. 19, no. 5, pp. 115–125, 2019.
- [6] T. Yuwono, G. Sakti, F. Nur Aulia, and A. Chandra Wijaya, "Improving the performance of Savonius wind turbine by installation of a circular cylinder upstream of returning turbine blade," *Alexandria Eng. J.*, vol. 59, no. 6, pp. 4923–4932, 2020, doi: 10.1016/j.aej.2020.09.009.
- [7] R. Umami, "Studi Eeksperimen Peningkatan Kinerja Turbin Angin Savonius Dengan Penempetan Silinder Sirkular di Depan Returning Blade Turbin," Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2019.