

Studi Eksperimental Efek Interaksi Antara Silinder Sirkuler dan Sudu *Returning* terhadap Kinerja Turbin Angin Savonius

Fahrizal Aji Nurcahya dan Triyogi Yuwono

Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

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

Abstrak—Kemungkinan sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui akan semakin habis. Turbin angin Savonius merupakan opsi terbaik dalam pemanfaatan energi terbarukan sebagai sumber tenaga pembangkit listrik. Prinsip kerja turbin angin Savonius adalah memanfaatkan selisih torsi akibat gaya *drag* pada *advancing blade* dan *returning blade* sehingga turbin dapat berputar menghasilkan energi mekanis yang akan dikonversi menjadi energi listrik. Penelitian yang dilakukan digunakan turbin angin Savonius dua sudu dengan rasio diameter (d/D) 0,2, *aspect ratio* (H/L) ≈ 1 , jarak silinder pengganggu terhadap diameter sudu turbin (S/D) sebesar 2,5, dan variasi kecepatan angin bernilai 4 sampai dengan 10 (m/s). Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menambahkan silinder pengganggu di depan *returning blade* efektif meningkatkan performa turbin. Nilai tertinggi diperoleh pada kecepatan angin 5 m/s yaitu diperoleh *coefficient of power maximum* sebesar 0,0576 pada *tip speed ratio* (λ) sebesar 0,662. Sedangkan peningkatan nilai *coefficient of power maximum* tertinggi pada kecepatan angin (U) 8 m/s yaitu sebesar 13,62% dengan nilai 0,0417 pada *tip speed ratio* (λ) 0,58 dan diperoleh peningkatan nilai *coefficient of moment* maksimum pada kecepatan 10 m/s sebesar 25,23%. Namun, penggunaan silinder pengganggu untuk semua variasi kecepatan belum mampu menyebabkan turbin Savonius memiliki *self-starting* pada semua posisi angular sudu.

Kata Kunci—*Coefficient of Moment, Coefficient of Power, Silinder Pengganggu, Static Torque, dan Turbin Angin Savonius.*

I. PENDAHULUAN

ENERGI di Indonesia khususnya dan di dunia terus mengalami peningkatan kebutuhan di Indonesia dan dunia karena pertambahan penduduk, pertumbuhan ekonomi, dan pola konsumsi energi yang senantiasa meningkat. Menurut kementerian ESDM, berdasarkan hasil proyeksi dari pembuatan *outlook*, bauran energi primer skenario BaU pada tahun 2025 untuk EBT 21%, gas 24%, batubara 34%, dan minyak 21% dan pada tahun 2050 pangsa EBT naik menjadi sebesar 29%, gas 23%, batubara 32%, dan minyak 16% [1]. Sehingga, kemungkinan sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui akan semakin habis. Menurut Badan Pengatur Jalan Tol (BPJT), Indonesia mengalami peningkatan volume kendaraan di jalan tol dari tahun 2016 ke tahun 2017 sebesar 9,4 % [2]. Pemasangan turbin angin Savonius di tengah-tengah jalan tol dengan memanfaatkan energi dari hembusan angin dari kendaraan yang lewat merupakan opsi terbaik dalam pemanfaatan energi terbarukan sebagai sumber tenaga pembangkit listrik.

Penelitian yang dilakukan oleh Tsutsui dan Igarashi dengan memberi pengganggu berupa silinder sirkuler pada

aliran yang melewatinya, menyebabkan gaya *drag* pada daerah belakang benda pengganggu berkurang [3].

Penelitian yang dilakukan oleh Sang Joon Lee, *et al* tentang pengaruh penambahan *inlet disturbance body* berupa silinder sirkuler dengan memvariasikan jarak longitudinal di antara *disturbance body* maupun silinder pengganggu (L/d), rasio diameter silinder pengganggu dengan silinder sirkuler utama (d/D), serta bilangan Reynolds (Re) [4]. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah silinder pengganggu dapat mengubah *drag coefficient* dan struktur aliran tergantung dari jarak (L) antara silinder utama dan silinder pengganggu.

Penelitian yang dilakukan oleh N. H. Mahmoud, dkk. dengan melakukan perbandingan turbin *single* dan *double stage* menggunakan 2, 3, dan 4 *blades* [5]. Variasi lain yang dilakukan yaitu variasi terhadap *overlap ratio* (β) sebesar 0; 0,2; 0,25; 0,3; dan 0,35 serta variasi *aspects ratio* sebesar 0,5; 1; 2; 4; dan 5 serta ada atau tidaknya *end plate*. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini, yaitu turbin dengan dua sudu lebih efisien dibandingkan dengan turbin tiga dan empat sudu. Turbin yang menggunakan *end plate* menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan tanpa *end plate*. Turbin *double stages* memberikan hasil yang lebih maksimum dibanding *single stage* serta turbin tanpa *overlap ratio* lebih baik dalam menghasilkan tenaga yang lebih tinggi. Hasil juga menunjukkan bahwa *coefficient of power* (C_p) meningkat seiring dengan *aspect ratio* yang tinggi.

Penelitian yang dilakukan oleh Triyogi Yuwono, dkk. dengan menggunakan silinder pengganggu tipe I, variasi sudut iris dari 0° sampai 65° dan diposisikan di depan silinder utama menggunakan variasi bilangan Reynolds $5,3 \times 10^4$ [6]. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini yaitu pengurangan *drag* silinder sirkuler utama yang paling efektif adalah ketika diberi silinder pengganggu dengan sudut iris 65° . Hal ini terjadi karena saat diberi silinder pengganggu tipe-I dengan sudut 65° , daerah *wake* yang terjadi dibelakangnya sangat besar sehingga dinilai efektif untuk mengganggu silinder utama dan mampu menunda titik separasi kemudian akan dihasilkan daerah *wake* yang kecil sehingga dapat mengurangi gaya *drag* yang terjadi pada silinder utama. Nilai pengurangan gaya *drag* yang dihasilkan sebesar 52% dibanding gaya *drag* pada silinder tanpa pengganggu.

Penelitian yang dilakukan oleh Gunawan Sakti, dkk. terkait dengan studi eksperimen dan numerik tentang pengaruh pemasangan silinder pengganggu tipe-I 65° di depan *returning blade* terhadap kinerja turbin angin Savonius dilakukan dengan bilangan Reynolds $9,9 \times 10^4$ berdasarkan *free stream velocity* (U) adalah 5 m/s dan panjang

karakteristik $(L) = 2D - b$ [7]. D adalah diameter dari *blade* dan b adalah diameter dari poros turbin. Diameter dari silinder pengganggu tipe-I 65° (d) adalah 88,5 mm dan diameter *blade* atau sudu turbin angin Savonius (D) adalah 165,2 mm. Sehingga, ukuran d/D adalah 0,54. Tinggi turbin angin Savonius (H) adalah 294,4 mm dengan diameter poros turbin (b) adalah 19 mm. Rotor turbin dipasang dengan *end plate* berdiameter sebesar 333,7 mm. Silinder tipe-I 65° dipasang dengan ukuran tinggi (h) sebesar 500 mm pada sisi *upstream* dari *returning blade*. Silinder pengganggu tipe-I 65° dipasang dengan jarak pusat silinder pengganggu dengan pusat diameter sudu turbin (S/D) adalah 1,4. Hasil dari penelitian adalah pemasangan silinder pengganggu tipe-I 65° di sisi *upstream returning blade* dapat menaikkan kinerja turbin angin Savonius sebesar 23,61% lebih besar dari pada turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu. *Gap* maksimum antara hasil numerik dan eksperimen diperoleh pada $TSR \lambda = 0.8$ untuk turbin konvensional dan $TSR \lambda = 0.9$ untuk turbin dengan tipe silinder I- 65° . Kondisi *gap* maksimal yang dihitung masing-masing mencapai 2,65% dan 4,25%.

Penelitian yang dilakukan oleh T. Yuwono, yaitu studi eksperimen peningkatan kinerja turbin angin Savonius dengan penambahan *circular cylinder* pada sisi *upstream* dari *returning blade* [8]. Penelitian ini dilakukan dengan pemasangan silinder pengganggu di depan *returning blade* dengan variasi S/D dalam penelitian ini adalah 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; dan 2,2. Hasil dari penelitian ini adalah terdapat peningkatan *coefficient of power* (C_p) ketika terjadi penambahan silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin angin Savonius $S/D = 1,4$; 1,6; dan 1,8. Maximum *coefficient of power* terjadi pada saat *tip speed ratio* (λ) bernilai 0,65; 0,70; dan 0,67 peningkatan sekitar 12,2%; 6,7%; dan 1,7% masing-masing untuk $S/D = 1,4$; 1,6; dan 1,8.

Penelitian lain yang berkaitan dengan peningkatan kinerja turbin angin Savonius telah dilakukan oleh Umami Riza, yaitu dengan melakukan penelitian dengan $d/D = 0,2$ dan $H/L = 0,7$, sehingga dapat dijadikan referensi untuk membandingkan penelitian yang dilakukan oleh Umami Riza dengan penelitian ini [9].

Penelitian lain dilakukan oleh A. Latip, dkk. merupakan penelitian yang mempelajari secara eksperimen mengenai pengaruh lebar plat pengganggu tunggal yang diletakkan didepan *returning blade* terhadap performa turbin angin Savonius [10]. Prosedur penelitian yaitu dengan menempatkan plat pengganggu tunggal didepan *returning blade* turbin Savonius. Pada penelitian ini turbin angin Savonius yang digunakan terbuat dari pipa plastik (PVC) dengan diameter (D) = 102 mm dan tinggi (H) = 300 mm serta overlap (b) = 16 mm. Plat pengganggu terbuat dari PVC dengan tebal 3 mm dan tinggi 300 mm. Parameter yang divariasikan pada penelitian ini adalah lebar plat pengganggu (S), perbandingan lebar plat terhadap diameter turbin Savonius (S/D), dan bilangan Reynolds. Variasi lebar plat pengganggu yang digunakan yaitu 102 mm, 104 mm, 105 mm, 108 mm, 113 mm, 117 mm, 144 mm, 165 mm, 186 mm dan 203 mm. Variasi S/D pada penelitian ini adalah 1,00; 1,02; 1,03; 1,06; 1,11; 1,15; 1,41; 1,62; 1,86; dan 2,00. Variasi bilangan Reynolds yaitu 30.000 dan 90.000. Hasil penelitian yang didapatkan bahwa nilai $Re = 30.000$ untuk semua jenis lebar plat yang digunakan memberikan nilai $N/N_0 > 1$, hal ini menunjukkan bahwa pada bilangan

Reynolds 30.000 turbin dengan plat selalu berputar lebih cepat dibanding turbin tanpa plat. Sedangkan pada bilangan Reynolds 90.000 untuk turbin dengan plat dimana $S/D < 1,41$ nilai $N/N_0 > 1$, tetapi tidak pada nilai $S/D > 1,41$ dimana putaran turbin dengan plat lebih rendah dibandingkan dengan turbin tanpa plat, yang terjadi penurunan nilai N/N_0 menjadi 0,88 pada $S/D = 2,0$.

Dari beberapa penelitian diatas dapat diketahui bahwa penelitian mengenai peningkatan performa turbin angin jenis Savonius masih perlu terus dikembangkan agar mendapat hasil yang lebih optimal. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan upaya untuk meningkatkan performa turbin angin savonius dengan cara memvariasikan kecepatan angin 4-10 m/s, penambahan silinder pengganggu dengan jarak silinder pengganggu dengan *returning blade* (S/D) konstan 2,5, rasio diameter silinder pengganggu dengan diameter *blade* turbin (d/D) = 0,2, dan *aspect ratio* (H) ≈ 1 .

II. METODE PENELITIAN

Eksperimen ini dilakukan dengan dibandingkan performa antara turbin angin Savonius tanpa penghalang dan dengan penghalang. Gambar 1 ditunjukkan bahwa skema penelitian yang terdiri dari peletakkan alat, spesifikasi dimensi, dan parameter-parameter yang dipakai dalam penelitian. Parameter-parameter yang digunakan dalam penelitian adalah diameter *blade* turbin (D), jarak antara pusat silinder pengganggu dan pusat *returning blade* (S), diameter turbin (L), diameter poros (b), diameter silinder pengganggu (d), tinggi turbin (H), tinggi silinder pengganggu (h), tebal *blade* atau sudu turbin (t), massa jenis udara (ρ), viskositas udara (μ), dan kecepatan angin yang berasal dari *axial fan* (U).

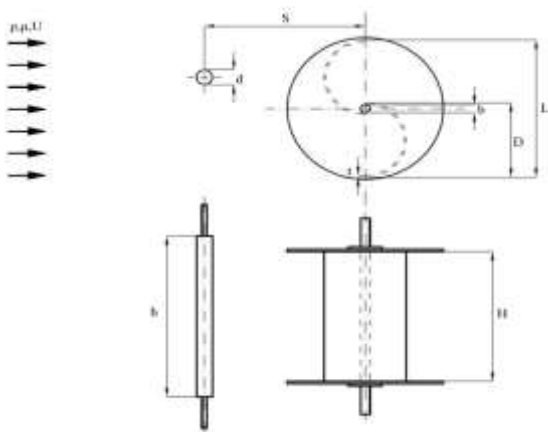
Keterangan dari Gambar 1 adalah sebagai berikut:

1. D : Diameter *blade* turbin (m)
2. S : Jarak antara pusat silinder pengganggu dan pusat *returning blade* (m)
3. L : Diameter turbin (m)
4. b : Diameter poros (m)
5. d : Diameter silinder pengganggu (m)
6. H : Tinggi turbin (m)
7. h : Tinggi silinder pengganggu (m)
8. t : Tebal *blade* atau sudu turbin (m)
9. ρ : Massa jenis udara (Kg/m^3)
10. μ : Viskositas udara (Ns/m^2)
11. U : Kecepatan angin yang berasal dari *fan* (m/s)

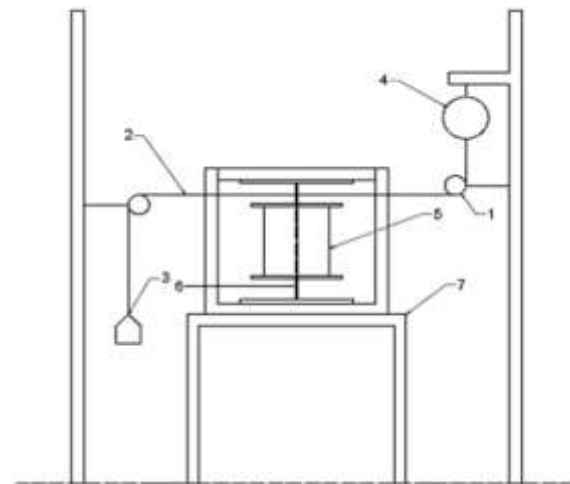
A. Skema Eksperimen

Gambar 2 ditunjukkan skema eksperimen dengan konfigurasi dari turbin angin Savonius. Skema eksperimen ditunjukkan bahwa sistem eksperimen yang dilakukan untuk observasi turbin angin Savonius adalah dilakukan peletakkan *voltage regulator* yang berfungsi untuk mengatur kecepatan angin dari *axial fan* (U).

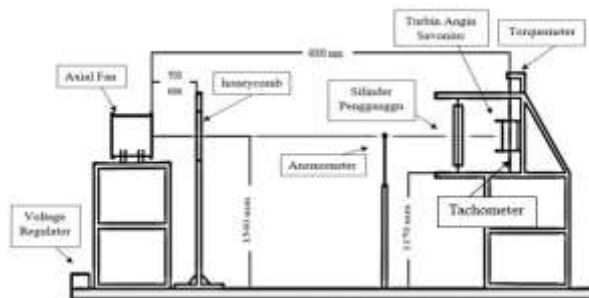
Axial fan yang diletakkan di dekat *voltage regulator* dan jarak antara *axial fan* dengan turbin angin Savonius adalah 4000 mm. *Honeycomb* yang berfungsi untuk membuat aliran dari *axial fan* menjadi *uniform* diletakkan di dekat *axial fan* dengan jarak 500 mm. Silinder pengganggu di letakkan di depan *returning blade* dengan jarak (S/D) sebesar 2,5. Turbin angin Savonius diletakkan di kerangka penyangga dengan ukuran rasio antara diameter turbin angin Savonius dengan



Gambar 1. Skema dan parameter ukur alat penelitian.



Gambar 3. Skema brake dynamometer.



Gambar 2. Skema Eksperimen alat penelitian.

diameter silinder pengganggu (d/D) sebesar 0,2. *Anemometer* yang berfungsi untuk mengukur kecepatan angin yang datang menuju turbin angin Savonius diletakkan di depan silinder pengganggu. *Torquemeter* yang berfungsi untuk mengukur torsi statis diletakkan di bagian poros atas turbin angin Savonius. *Tachometer* yang berfungsi untuk mengukur putaran dari turbin angin Savonius diletakkan di dekat poros bawah turbin angin Savonius.

B. Benda Uji

1) Spesifikasi yang dimiliki oleh turbin angin Savonius yang digunakan dalam eksperimen ini adalah:

1. Material sudu turbin : Pipa PVC
2. Material end plate : Aluminium clad 2024
3. Diameter blade turbin (D) : 165,2 mm
4. Tinggi turbin (H) : 294,4 mm
5. Diameter turbin (L) : 303,4 mm
6. Diameter poros turbin (b) : 19 mm
7. Diameter end plate (D_0) : 321 mm
8. Tebal end plate : 1 mm
9. Tebal sudu turbin (t) : 4 mm

2) Spesifikasi yang dimiliki oleh silinder pengganggu yang digunakan dalam eksperimen ini adalah:

1. Diameter silinder (d) : 33 mm
2. Tinggi silinder (h) : 500 mm
3. Rasio diameter (d/D) : 0,2 mm

C. Alat Ukur

1) *Tachometer*

Tachometer adalah alat ukur digital yang digunakan untuk mengukur kecepatan rotasi dari sebuah poros turbin angin Savonius. *Tachometer* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *tachometer* OMEGA seri HHT12 dengan kemampuan pembacaan 0,05 m sampai 7,6 m seta akurasi pembacaan

0,01% ± 1 digit.

2) *Anemometer*

Anemometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan *flow* yang datang dari *axial fan*. *Anemometer* yang digunakan pada penelitian ini adalah *anemometer* model Omega HHF141 dengan *high resolution* 0,01 m/s.

3) *Voltage regulator*

Voltage regulator digunakan untuk mengatur besar keluaran tegangan yang berkaitan dengan kecepatan angin yang keluar dari *axial fan*. Kecepatan angin yang keluar dari *axial fan* dapat diperbesar dengan menaikkan tegangan dan kecepatan angin yang keluar dari *axial fan* dapat diperkecil dengan menurunkan tegangan. *Voltage regulator* yang digunakan dalam penelitian ini adalah tipe TDGC 2J-3.

4) *Torquemeter*

Torquemeter adalah alat yang digunakan untuk mengukur torsi statis dari poros turbin angin Savonius. Torque meter yang digunakan pada penelitian adalah *Torque meter* LUTRON model TQ-8800 dengan *high resolution* 0,1 N.cm.

5) *Brake Dynamometer*

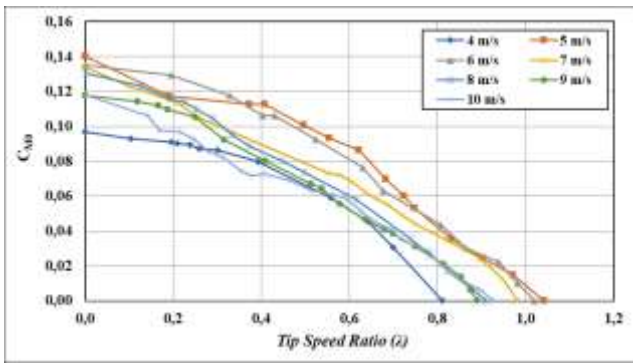
Brake dynamometer digunakan untuk mengukur torsi dinamis dengan timbangan beban sebagai *spring balance*. Skema dan *free body diagram* dari *brake dynamometer* dapat dilihat pada Gambar 3.

Keterangan dari Gambar 3 adalah sebagai berikut:

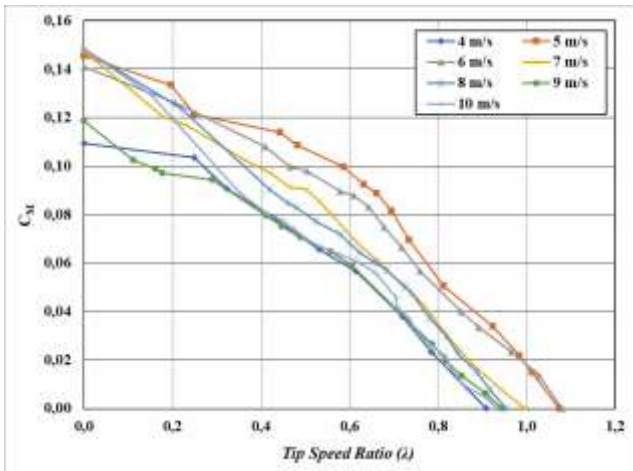
1. *Pulley*
2. Benang
3. Massa pemberat
4. Neraca pegas
5. Turbin angin Savonius
6. Poros turbin angin Savonius
7. Struktur penyangga turbin angin Savonius

D. Data Reduction

Eksperimen penelitian turbin angin Savonius ini diinvestigasi dengan menggunakan kecepatan angin yang berasal dari *axial fan* (U) sebesar 4, 5, 6, 7, 8, 9, dan 10 m/s. Sehingga, bilangan Reynolds yang didapatkan sebesar $7,64 \times 10^4$, $9,5 \times 10^4$, $11,46 \times 10^4$, $13,37 \times 10^4$, $15,28 \times 10^4$, $17,19 \times 10^4$, dan $19,1 \times 10^4$. Bilangan Reynolds dikalkulasikan berdasarkan panjang karakteristik dan kecepatan angin yang berasal dari *axial fan* (U) seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut:



Gambar 4. Komparasi C_{M0} tanpa penghalang pada kecepatan 4, 5, 6, 7, 8, 9, dan 10 (m/s).



Gambar 5. Komparasi C_M dengan penghalang S/D 2,5 pada kecepatan 4, 5, 6, 7, 8, 9, dan 10 (m/s).

$$Re_L = \frac{\rho U L}{\mu} \tag{1}$$

Dimana ρ adalah massa jenis udara bernilai $1,7096 \text{ Kg/m}^3$, U adalah kecepatan angin yang berasal dari *axial fan* bernilai 4, 5, 6, 7, 8, 9, dan 10 m/s, L adalah panjang karakteristik dari turbin ($L=2D-b-2t$) (m), D adalah diameter *blade* turbin (m), b adalah diameter poros turbin (m), t adalah tebal sudu turbin (m), dan μ adalah viskositas udara dengan nilai $1,86 \times 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$.

Tip speed ratio (λ) dapat dikalkulasikan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{\omega R}{U} \tag{2}$$

Dimana R adalah jari-jari turbin sebesar 0,1517 m, U adalah kecepatan angin yang berasal dari *axial fan* sebesar 4-10 m/s, dan ω adalah kecepatan sudut turbin angin Savonius (rad/s) yang dikalkulasikan dengan persamaan berikut:

$$\omega = \frac{2 \pi n}{60} \tag{3}$$

Torsi dinamis (τ) dapat dikalkulasikan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\tau = \{[s - m] \cdot g\} \cdot r \tag{4}$$

Dimana s adalah pembacaan neraca pegas (Kg), m adalah massa yang ditanggung oleh poros turbin (Kg), g adalah percepatan gravitasi bumi dengan nilai $9,81 \text{ m/s}^2$, dan r adalah jari-jari poros turbin yang menerima beban sebesar 0,009625 m.

Coefficient of moment (C_M) dapat dikalkulasikan dengan

persamaan sebagai berikut:

$$C_M = \frac{\tau}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot U^2 \cdot R} \tag{5}$$

Dimana τ adalah torsi dinamis (N.m), ρ adalah massa jenis udara sebesar $1,7096 \text{ Kg/m}^3$, U adalah kecepatan angin yang berasal dari *axial fan* sebesar 4-10 m/s, R adalah jari-jari turbin angin Savonius sebesar 0,1517 m, dan A adalah *cross sectional area* dialiri aliran angin yang berasal dari *axial fan* yang dapat dikalkulasikan dengan persamaan sebagai berikut:

$$A = L H \tag{6}$$

Dimana L adalah panjang karakteristik turbin angin Savonius dengan nilai sebesar 0,3034 m, H adalah tinggi turbin angin Savonius dengan nilai sebesar 0,2944 m.

Coefficient of power (C_P) dapat dikalkulasikan dengan persamaan sebagai berikut:

$$C_P = \frac{\{[s-m]g\} \cdot r \cdot \pi \cdot \omega}{15 \cdot \rho \cdot A \cdot U^3} \tag{7}$$

Dimana s adalah pembacaan neraca pegas (Kg), m adalah massa beban yang ditanggung poros turbin (Kg), g adalah percepatan gravitasi bumi sebesar $9,81 \text{ m/s}^2$, r adalah jari-jari poros turbin yang menerima beban sebesar 0,009625 m, ω adalah kecepatan sudut turbin angin Savonius (rad/s), ρ adalah massa jenis udara sebesar $1,7096 \text{ Kg/m}^3$, A adalah luas *cross sectional* sebesar 0,089 m^2 , dan U adalah kecepatan angin yang berasal dari *axial fan* sebesar 4-10 m/s.

Data penelitian yang didapatkan akan digunakan untuk mendapatkan grafik *coefficient of moment* (C_M) terhadap *tip speed ratio* (λ), grafik *coefficient of moment* (C_M) terhadap *tip speed ratio* (λ), dan grafik torsi statis (T_s) terhadap sudut angular turbin angin Savonius (θ).

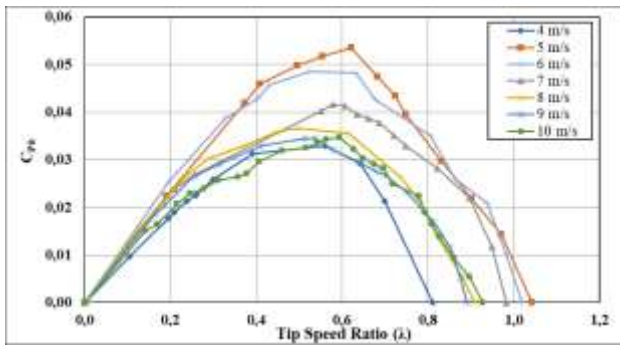
III. ANALISA DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Coefficient of Moment (C_M)

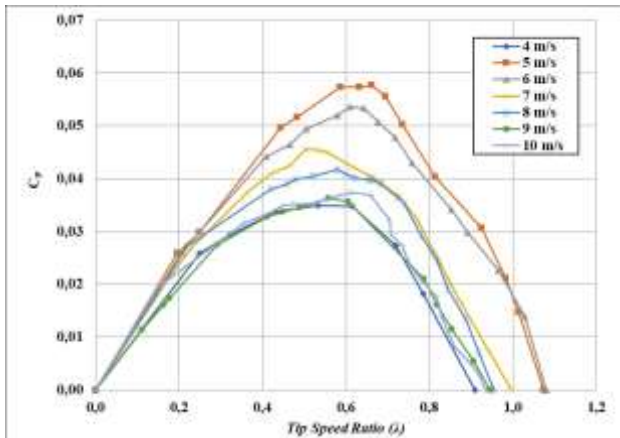
Nilai *coefficient of moment* (C_M) yang didapatkan dari eksperimen ini akan dianalisa dan ditampilkan dalam bentuk grafik seperti pada grafik dari Gambar 4 dan Gambar 5. Gambar 4 ditunjukkan perbandingan hasil *coefficient of moment* (C_{M0}) pada setiap kecepatan dari turbin angin Savonius tanpa pemasangan silinder pengganggu di depan *returning blade* dan Gambar 5 ditunjukkan perbandingan hasil *coefficient of moment* (C_M) pada setiap kecepatan dari turbin angin Savonius dengan pemasangan silinder pengganggu di depan *returning blade*. *Coefficient of moment* didapatkan dengan persamaan (5). Pengukuran *coefficient of moment* dilakukan dengan menggunakan *brake dynamometer* yang hasilnya didapatkan torsi dinamis. Torsi dinamis yang didapatkan akan dibandingkan dengan torsi teoritis dari angin sehingga menghasilkan *coefficient of moment*.

Hasil yang didapatkan dari turbin angin Savonius tanpa pemasangan silinder pengganggu di depan *returning blade* pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa nilai *coefficient of moment maximum* turbin angin Savonius tanpa penghalang (C_{M0}) adalah saat kecepatan angin (U) 5 m/s sebesar 0,14008 dan yang terendah adalah saat kecepatan angin (U) 4 m/s sebesar 0,0968.

Hasil yang didapatkan dapat dilihat dari Gambar 5 bahwa nilai *coefficient of moment maximum* turbin angin Savonius diberikan penghalang di depan *returning blade* (C_M) adalah



Gambar 6. Komparasi C_{P0} tanpa penghalang pada kecepatan 4, 5, 6, 7, 8, 9 dan 10 (m/s).



Gambar 7. Komparasi C_P dengan penghalang S/D 2,5 pada kecepatan 4, 5, 6, 7, 8, 9, dan 10 (m/s).

saat kecepatan angin (U) 8 m/s sebesar 0,148152 pada *tip speed ratio* (λ) sebesar 0 dan yang terendah adalah saat kecepatan angin (U) 4 m/s sebesar 0,109439 pada *tip speed ratio* (λ) sebesar 0. Peningkatan nilai *coefficient of moment* (C_M) setelah diberikan penghalang tertinggi pada kecepatan angin (U) 10 m/s yaitu sebesar 25,22%.

Trendline pada Gambar 4 dan Gambar 5 ditunjukkan bahwa semakin besar *tip speed ratio* (λ) maka semakin rendah *coefficient of moment* (C_M) karena saat *tip speed ratio* (λ) semakin besar artinya putaran turbin semakin besar. Putaran semakin besar disebabkan oleh beban pada turbin mengecil atau pengereman putaran turbin rendah. Hal ini disebabkan oleh selisih beban yang ditambah dengan neraca beban yang terbaca (m-s) menurun. Sehingga, nilai *coefficient of moment* semakin rendah. Demikian sebaliknya, semakin rendah *tip speed ratio* (λ) maka semakin tinggi *coefficient of moment* (C_M) dari turbin angin Savonius. Hal ini dikarenakan ketika beban ditambah maka putaran turbin semakin rendah karena selisih beban yang ditambah dengan neraca beban yang terbaca (m-s) semakin besar. Sehingga, *Coefficient of moment* (C_M) dari turbin angin Savonius semakin besar hingga maksimal.

B. Analisa Coefficient of Power (C_P)

Nilai dari *coefficient of power* turbin tanpa penghalang (C_{P0}) didapatkan dengan menggunakan persamaan (7). Nilai torsi dinamis didapat dengan menggunakan *brake dynamometer* dengan menghitung selisih nilai yang terbaca pada neraca pegas dan massa pemberat yang diberikan dikalikan dengan percepatan gravitasi dan jari-jari poros yang dikenai beban. Penambahan variasi massa dilakukan untuk mendapatkan variasi nilai *tip speed ratio* (λ) dari turbin angin Savonius. Grafik *coefficient of power* turbin angin Savonius

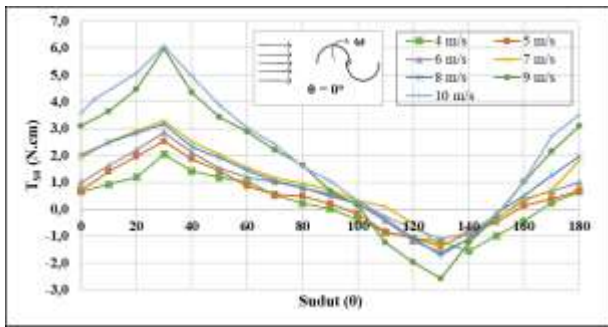
tanpa silinder pengganggu (C_{P0}) terhadap *tip speed ratio* (λ) pada masing-masing kecepatan angin (U) dapat dilihat pada Gambar 6.

Gambar 6 adalah kurva parabolik. Nilai *coefficient of power* dari turbin angin Savonius tanpa diberikan silinder pengganggu atau penghalang di depan *returning blade* mengalami kenaikan di awal dan kemudian setelah titik puncak tertentu akan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya nilai dari *tip speed ratio* (λ). Nilai *coefficient of power* maksimum dari turbin angin Savonius tanpa diberikan silinder pengganggu atau penghalang (C_{P0Max}) pada λ optimum didapatkan pada titik puncak dari kurva dari Gambar 6. Untuk kecepatan angin (U) 4 m/s nilai C_{P0Max} sebesar 0,0329 pada $\lambda = 0,559$. Untuk kecepatan angin (U) 5 m/s nilai C_{P0Max} sebesar 0,0536 pada $\lambda = 0,6213$. Untuk kecepatan angin (U) 6 m/s nilai C_{P0Max} sebesar 0,0485 pada $\lambda = 0,524$. Untuk kecepatan angin (U) 7 m/s nilai C_{P0Max} sebesar 0,0416 pada $\lambda = 0,579$. Untuk kecepatan angin (U) 8 m/s nilai C_{P0Max} sebesar 0,0367 pada $\lambda = 0,498$. Untuk kecepatan angin (U) 9 m/s nilai C_{P0Max} sebesar 0,0345 pada $\lambda = 0,538$. Untuk kecepatan angin (U) 10 m/s nilai C_{P0Max} sebesar 0,0347 pada $\lambda = 0,593$. Sehingga, nilai C_{P0Max} tertinggi dapat diketahui berada pada kecepatan angin (U) 5 m/s dan nilai terendah pada kecepatan angin (U) 4 m/s.

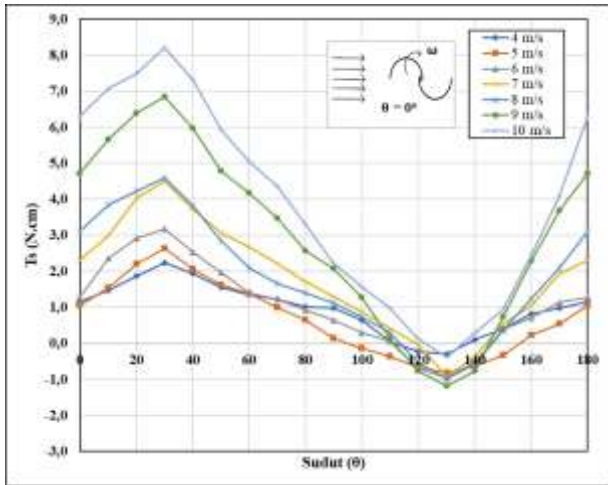
Grafik yang dihasilkan oleh Gambar 6 ditunjukkan bahwa peningkatan kecepatan angin (U) tidak berbanding lurus dengan peningkatan *coefficient of power* (C_P). Hal ini dapat ditunjukkan bahwa nilai *coefficient of power maximum* (C_{P0Max}) dari kecepatan angin (U) 4, 6, 7, 8, 9, dan 10 (m/s) lebih rendah dari pada nilai *coefficient of power maximum* (C_{P0Max}) dari kecepatan angin (U) 5 m/s. Hal ini dapat diartikan bahwa turbin angin Savonius tanpa diberikan silinder pengganggu di depan *returning blade* dapat bekerja sangat baik pada kecepatan angin dari *axial fan* sebesar 5 m/s. Sehingga, kecepatan 5 m/s adalah kecepatan optimum pada turbin angin Savonius ini.

Grafik *coefficient of power* turbin angin Savonius dengan pemasangan silinder pengganggu (C_P) terhadap *tip speed ratio* (λ) pada masing-masing kecepatan angin (U) dapat dilihat pada Gambar 7.

Gambar 7 adalah kurva parabolik. Nilai *coefficient of power* dari turbin angin Savonius dengan diberikan silinder pengganggu atau penghalang di depan *returning blade* mengalami kenaikan di awal dan kemudian setelah titik puncak tertentu akan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya nilai dari *tip speed ratio* (λ). Nilai *coefficient of power* maksimum dari turbin angin Savonius dengan diberikan silinder pengganggu atau penghalang (C_{PMax}) pada λ optimum didapatkan pada titik puncak dari kurva dari Gambar 7. Untuk kecepatan angin (U) 4 m/s nilai C_{PMax} sebesar 0,0349 pada $\lambda = 0,553$. Untuk kecepatan angin (U) 5 m/s nilai C_{PMax} sebesar 0,0576 pada $\lambda = 0,6624$. Untuk kecepatan angin (U) 6 m/s nilai C_{PMax} sebesar 0,0536 pada $\lambda = 0,6093$. Untuk kecepatan angin (U) 7 m/s nilai C_{PMax} sebesar 0,0455 pada $\lambda = 0,503$. Untuk kecepatan angin (U) 8 m/s nilai C_{PMax} sebesar 0,0417 pada $\lambda = 0,58$. Untuk kecepatan angin (U) 9 m/s nilai C_{PMax} sebesar 0,0362 pada $\lambda = 0,559$. Untuk kecepatan angin (U) 10 m/s nilai C_{PMax} sebesar 0,0374 pada $\lambda = 0,615$. Hasil data eksperimen yang disimpulkan pada Gambar 7 ditunjukkan bahwa rentang *tip speed ratio* (λ) terbaik berada pada 0,553 – 0,662 dikarenakan



Gambar 8. Komparasi T_{S0} tanpa penghalang pada kecepatan 4, 5, 6, 7, 8, 9 dan 10 (m/s).



Gambar 9. Komparasi T_S dengan penghalang S/D 2,5 pada kecepatan 4, 5, 6, 7, 8, 9 dan 10 (m/s).

pada rentang *tip speed ratio* (λ) adalah kondisi terbaik yang didapatkan pada setiap kecepatan angin (U) dan nilai *coefficient of power maximum* turbin angin Savonius diberikan penghalang di depan *returning blade* ($C_P Max$) tertinggi dengan S/D sebesar 2,5 adalah saat kecepatan angin (U) 5 m/s sebesar 0,0576 pada *tip speed ratio* (λ) sebesar 0,662 dan $C_P Max$ yang terendah adalah saat kecepatan angin (U) 4 m/s sebesar 0,0349 pada *tip speed ratio* (λ) 0,553. Dan peningkatan nilai *coefficient of power* ($C_P Max$) setelah diberikan penghalang tertinggi pada kecepatan angin (U) 8 m/s yaitu sebesar 13,6239782% dengan nilai $C_P Max$ sebesar 0,0417 pada *tip speed ratio* (λ) 0,58.

Bentuk grafik berupa parabolik yang dimiliki Gambar 6 dan Gambar 7 oleh nilai *coefficient of power* dari turbin angin Savonius terhadap fungsi *tip speed ratio* (λ) diartikan nilai C_P akan naik sampai $C_P Max$ pada *tip speed ratio* (λ) tertentu dan akan turun setelah melewati titik optimumnya. Hal ini dikarenakan oleh semakin tingginya kecepatan angin yang berasal dari *axial fan* maka aliran yang datang menuju sudu turbin tidak mengenai sudu turbin dengan sempurna sehingga semakin banyak *losses* yang terjadi. Hal ini yang disebabkan kurva parabolik terbentuk.

Trendline parabolik pada grafik Gambar 6 dan Gambar 7 telah sesuai dengan studi terdahulu sebagaimana yang ditunjukkan oleh hasil penelitian [7–9]. Bentuk *trendline* yang parabolik terjadi karena nilai *coefficient of power* dapat didekati secara matematik dengan mengalikan nilai *tip speed ratio* dengan *coefficient of moment*, sehingga didapatkan nilai C_P sebagai fungsi kuadrat *tip speed ratio*. Hal ini terjadi karena *coefficient of moment* merupakan fungsi dari *tip speed ratio* pangkat satu. Peningkatan nilai C_{P0} yang tidak berbanding lurus dengan peningkatan kecepatan angin terjadi

karena pada peningkatan nilai kecepatan angin akan diikuti oleh peningkatan *losses*. Hal ini mengakibatkan ketika nilai C_P dianalisa sebagai efisiensi turbin, nilai daya *output* akan sangat terpengaruh oleh *losses*. Sehingga, nilai daya *output* turbin yang didapat adalah lebih kecil dibanding daya *input* dari angin dan didapatkan nilai C_P yang semakin rendah pada kecepatan angin yang semakin tinggi. Selain itu pada kecepatan angin yang sangat tinggi, aliran udara yang mengalir justru tidak mampu mengenai sudu turbin dengan sempurna. Hal ini dikarenakan pada kecepatan angin yang tinggi akan mengakibatkan putaran turbin yang terlalu cepat. Sehingga, turbin Savonius seakan terbentuk *solid wall* yang menghalangi udara untuk mencapai sudu turbin dan menyebabkan daya *output* yang dihasilkan semakin rendah.

Sedangkan, turbin angin Savonius ketika bekerja pada kecepatan terlalu rendah akan mengakibatkan pembebanan terlalu kecil yang menyebabkan nilai torsi dinamis terlalu kecil dan nilai *coefficient of power* (C_P) terlalu rendah. Turbin angin Savonius akan bekerja paling baik pada *tip speed ratio* optimum yang di dalam eksperimen ditentukan dengan pemberian beban pemberat pada sistem *brake dynamometer*.

C. Analisa Torsi Statis (T_S)

Hasil eksperimen yang telah dilakukan menghasilkan data torsi statis saat turbin angin Savonius tanpa diberikan penghalang berupa silinder pengganggu (T_{S0}) dan turbin angin Savonius dengan pemasangan silinder pengganggu di depan *returning blade* (T_S). Torsi statis didapatkan dengan digunakan alat ukur *torquemeter*. Data torsi statis dihasilkan data yang berbeda di setiap sudut (θ).

Metode pengambilan data dimulai dengan dilakukan pada saat turbin dalam kondisi diam yaitu dengan dicekam pada bagian poros atas turbin, kemudian dialiri udara pada variasi kecepatan angin yang berasal dari *axial fan* (U) sebesar 4, 5, 6, 7, 8, 9, dan 10 (m/s). Torsi statis yang diukur pada penelitian ini yaitu torsi pada saat *blade* dari turbin ini berada mulai pada posisi angular sudut 0° searah dengan aliran udara sampai dengan posisi angular sudut 180° dengan kenaikan 10° .

Hasil dari eksperimen torsi statis saat turbin angin Savonius tanpa diberikan penghalang berupa silinder pengganggu (T_{S0}) dapat dilihat pada Gambar 8 untuk setiap kecepatan angin (U) sebesar 4, 5, 6, 7, 8, 9, dan 10 (m/s).

Trendline yang dapat dilihat pada Gambar 8 terjadi kenaikan sampai dengan titik tertentu kemudian terjadi penurunan *trendline* sampai dengan titik tertentu lalu terjadi kenaikan kembali sampai dengan titik tertentu. Torsi statis turbin angin Savonius tanpa diberikan silinder pengganggu (T_{S0}) pada kecepatan angin (U) 4 m/s memiliki nilai maksimum sebesar 2,04 N.cm pada sudut 30° dan nilai minimum sebesar -1,56 N.cm pada sudut 140° . Torsi statis turbin angin Savonius tanpa diberikan silinder pengganggu (T_{S0}) pada kecepatan angin (U) 5 m/s memiliki nilai maksimum sebesar 2,54 N.cm pada sudut 30° dan nilai minimum sebesar -1,38 N.cm pada sudut 130° . Torsi statis turbin angin Savonius tanpa diberikan silinder pengganggu (T_{S0}) pada kecepatan angin (U) 6 m/s memiliki nilai maksimum sebesar 2,86 N.cm pada sudut 30° dan nilai minimum sebesar -1,6 N.cm pada sudut 130° . Torsi statis turbin angin Savonius tanpa diberikan silinder pengganggu (T_{S0}) pada kecepatan angin (U) 7 m/s memiliki nilai

maksimum sebesar 3,28 N.cm pada sudut 30° dan nilai minimum sebesar -1,4 N.cm pada sudut 130° . Torsi statis turbin angin Savonius tanpa diberikan silinder pengganggu (T_{S0}) pada kecepatan angin (U) 8 m/s memiliki nilai maksimum sebesar 3,18 N.cm pada sudut 30° dan nilai minimum sebesar -1,7 N.cm pada sudut 130° . Torsi statis turbin angin Savonius tanpa diberikan silinder pengganggu (T_{S0}) pada kecepatan angin (U) 9 m/s memiliki nilai maksimum sebesar 5,98 N.cm pada sudut 30° dan nilai minimum sebesar -2,58 N.cm pada sudut 130° . Torsi statis turbin angin Savonius tanpa diberikan silinder pengganggu (T_{S0}) pada kecepatan angin (U) 10 m/s memiliki nilai maksimum sebesar 6,08 N.cm pada sudut 30° dan nilai minimum sebesar -1,1 N.cm pada sudut 130° .

Nilai T_{S0} berdasarkan urutan T_{S0} maksimum tertinggi pada kecepatan angin (U) 10 m/s dan T_{S0} maksimum terendah berada pada kecepatan angin (U) 4 m/s terjadi pada posisi sudut 30° .

Hasil dari eksperimen torsi statis saat turbin angin Savonius dengan diberikan penghalang berupa silinder pengganggu (T_s) dapat dilihat pada Gambar 9 untuk setiap kecepatan angin (U) sebesar 4, 5, 6, 7, 8, 9 dan 10 (m/s).

Trendline yang dapat dilihat pada Gambar 9 terjadi kenaikan sampai dengan titik tertentu kemudian terjadi penurunan *trendline* sampai dengan titik tertentu lalu terjadi kenaikan kembali sampai dengan titik tertentu. Torsi statis turbin angin Savonius diberikan silinder pengganggu (T_s) pada kecepatan angin (U) 4 m/s memiliki nilai maksimum sebesar 2,24 N.cm pada sudut 30° dan nilai minimum sebesar -0,3 N.cm pada sudut 130° . Torsi statis turbin angin Savonius diberikan silinder pengganggu (T_s) pada kecepatan angin (U) 5 m/s memiliki nilai maksimum sebesar 2,64 N.cm pada sudut 30° dan nilai minimum sebesar -0,82 N.cm pada sudut 130° . Torsi statis turbin angin Savonius diberikan silinder pengganggu (T_s) pada kecepatan angin (U) 6 m/s memiliki nilai maksimum sebesar 3,18 N.cm pada sudut 30° dan nilai minimum sebesar -0,96 N.cm pada sudut 130° . Torsi statis turbin angin Savonius diberikan silinder pengganggu (T_s) pada kecepatan angin (U) 7 m/s memiliki nilai maksimum sebesar 4,5 N.cm pada sudut 30° dan nilai minimum sebesar -0,92 N.cm pada sudut 130° . Torsi statis turbin angin Savonius diberikan silinder pengganggu (T_s) pada kecepatan angin (U) 8 m/s memiliki nilai maksimum sebesar 4,6 N.cm pada sudut 30° dan nilai minimum sebesar -0,98 N.cm pada sudut 130° . Torsi statis turbin angin Savonius diberikan silinder pengganggu (T_s) pada kecepatan angin (U) 9 m/s memiliki nilai maksimum sebesar 6,84 N.cm pada sudut 30° dan nilai minimum sebesar -1,18 N.cm pada sudut 130° . Torsi statis turbin angin Savonius diberikan silinder pengganggu (T_s) pada kecepatan angin (U) 10 m/s memiliki nilai maksimum sebesar 8,2 N.cm pada sudut 30° dan nilai minimum sebesar -0,38 N.cm pada sudut 130° .

Nilai T_s berdasarkan urutan T_s maksimum tertinggi pada kecepatan angin (U) 10 m/s dan T_s maksimum terendah berada pada kecepatan angin (U) 4 m/s terjadi pada posisi sudut 30° .

Nilai torsi statis (T_s) dipengaruhi oleh kecepatan angin (U) dan kecepatan angin yang berasal dari *axial fan* (U). Peningkatan nilai torsi statis (T_s) berbanding lurus dengan kecepatan angin (U) dan kecepatan angin yang berasal dari *axial fan* (U). Kenaikan kecepatan angin (U) yang melewati

turbin angin Savonius akan menyebabkan selisih gaya *drag* antara kedua *blade* turbin meningkat. Pemasangan silinder pengganggu di depan *returning blade* akan menurunkan gaya *drag* di depan *returning blade*.

Hal ini menyebabkan selisih gaya *drag* antara kedua *blade* turbin yang mengalami peningkatan juga dipengaruhi oleh luas dari *advancing blade*. Selisih gaya *drag* antara kedua *blade* turbin yang terjadi peningkatan akan menyebabkan terjadinya peningkatan nilai torsi statis. Arah putaran yang searah dengan gaya *drag* dapat menyebabkan terjadinya torsi yang maksimum. Turbin angin Savonius ditunjukkan bahwa turbin memiliki *self-starting capability* yang sangat baik ketika terjadi nilai torsi yang maksimum. Demikian sebaliknya, turbin angin Savonius ditunjukkan bahwa turbin tidak memiliki *self-starting capability* ketika terjadi torsi minimum yang bernilai negatif.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil eksperimen yang didapatkan dari eksperimen penelitian peningkatan kinerja turbin angin Savonius dengan peletakkan silinder pengganggu di depan *returning blade* dengan rasio jarak S/D bernilai 2,5, *aspect ratio* ≈ 1 , dan rasio diameter d/D = 0,2 dengan variasi kecepatan angin yang berasal dari *axial fan* (U) bernilai 4, 5, 6, 7, 8, 9 dan 10 (m/s) didapatkan beberapa kesimpulan dari eksperimen tersebut.

Beberapa kesimpulan tersebut, yang pertama adalah pemberian silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin angin Savonius dengan rasio S/D = 2,5 dan d/D = 0,2 dengan *aspect ratio* ≈ 1 efektif dalam meningkatkan nilai *Coefficient of Moment* (C_M) pada semua variasi kecepatan. Hasil yang didapatkan dari eksperimen bahwa nilai *coefficient of moment maximum* turbin angin Savonius diberikan penghalang di depan *returning blade* ($C_{M \text{ Max}}$) tertinggi adalah saat kecepatan angin (U) 8 m/s sebesar 0,1482 pada *tip speed ratio* (λ) sebesar 0 dan $C_{M \text{ Max}}$ yang terendah adalah saat kecepatan angin (U) 4 m/s sebesar 0,109439 pada *tip speed ratio* (λ) sebesar 0. Dan peningkatan nilai *coefficient of moment* (C_M) setelah diberikan penghalang tertinggi ($C_{M \text{ Max}}$) pada kecepatan angin (U) 10 m/s yaitu sebesar 25,22% dengan nilai $C_{M \text{ Max}}$ sebesar 0,1478 pada *tip speed ratio* (λ) sebesar 0.

Kesimpulan yang kedua, pemberian silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin angin Savonius dengan rasio S/D = 2,5 dan d/D = 0,2 *aspect ratio* ≈ 1 efektif dalam meningkatkan *Coefficient of Power* (C_P) pada semua variasi kecepatan. Hasil yang didapatkan eksperimen bahwa nilai *coefficient of power maximum* turbin angin Savonius diberikan penghalang di depan *returning blade* ($C_{P \text{ Max}}$) tertinggi adalah saat kecepatan angin (U) 5 m/s sebesar 0,0576 pada *tip speed ratio* (λ) sebesar 0,662 dan $C_{P \text{ Max}}$ yang terendah adalah saat kecepatan angin (U) 4 m/s sebesar 0,0349 pada *tip speed ratio* (λ) 0,553. Dan peningkatan nilai *coefficient of power* (C_P) setelah diberikan penghalang tertinggi pada kecepatan angin (U) 8 m/s yaitu sebesar 13,62% dengan nilai $C_{P \text{ Max}}$ sebesar 0,0417 pada *tip speed ratio* (λ) 0,58. Rentang *tip speed ratio* (λ) terbaik berada pada 0,553 – 0,662 dikarenakan pada rentang *tip speed ratio* (λ) adalah kondisi terbaik yang didapatkan pada setiap kecepatan angin (U).

Kesimpulan yang ketiga, pemberian silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin angin Savonius dengan rasio $S/D = 2,5$ dan $d/D = 0,2$ *aspect ratio* ≈ 1 efektif dalam meningkatkan nilai torsi statis pada semua posisi angular sudu walaupun tidak semua sudut memiliki *self-starting capability* dengan dibuktikan dari hasil eksperimen pada semua kecepatan pasti ada nilai torsi negatif pada beberapa sudut tertentu. Peningkatan nilai torsi statis berada pada torsi statis saat diberikan pemasangan silinder pengganggu di depan *returning blade* pada kecepatan angin yang berasal dari *axial fan* (U) 10 m/s sebesar 44,65% dengan nilai torsi statis ($T_{S Max}$) sebesar 8,2 N.cm saat sudut 30° .

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Mujiyanto, "Outlook Indonesia Energy 2019," Jakarta: Secretariat General National Energy Council, 2019.
- [2] Badan Pengatur Jalan Tol, "5 Jalan Tol dengan Volume Lalu Lintas Tertinggi Tahun 2017," Jakarta Selatan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018. [Online]. Available: <https://bpjt.pu.go.id/berita/5-jalan-tol-dengan-volume-lalu-lintas-tertinggi-tahun-2017>.
- [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.
- [4] S.-J. Lee, S.-I. Lee, and C.-W. Park, "Reducing the drag on a circular cylinder by upstream installation of a small control rod," *Fluid Dyn. Res.*, vol. 34, no. 4, p. 233, 2004.
- [5] 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.
- [6] 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," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 223, no. 10, pp. 2291–2296, 2009.
- [7] G. Sakti, T. Yuwono, and W. A. Widodo, "Experimental and numerical investigation of I-65⁰ type cylinder effect on the Savonius wind turbine performance," in *International Journal of IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2020, vol. 505, p. 12042.
- [8] T. Yuwono, G. Sakti, F. N. Aulia, and A. C. 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.
- [9] R. Umami, "Studi Eksperimen Peningkatan Kinerja Turbin Angin Savonius Dengan Penempatan Silinder Sirkular didepan Returning Blade Turbin," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2019.
- [10] T. Yuwono *et al.*, "The Effect of Width of Single Curtain on The Performance of Savonius Wind Turbine," in *AIP conference proceedings*, 2018, vol. 1983, no. 1, p. 20023.