

Studi Eksperimen Pengaruh Silinder Sirkular Didepan *Returning Blade* Turbin Angin *Savonius* Terhadap Performa Turbin dengan Rasio $S/D = 1,6$ dan $d/D = 0,5$

Festy Merbasari Mahardina dan Tri Yogi Yuwono

Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

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

Abstrak—Studi eksperimen dilakukan dengan menggunakan Turbin Angin *Savonius* dengan diameter sudu turbin (D) sebesar 167 mm, tinggi turbin (H) sebesar 298 mm, lebar turbin (L) sebesar 309 mm, diameter *endplate* (D_0) sebesar 320 mm dan diameter poros turbin (e) sebesar 19 mm. Dengan diameter silinder pengganggu (d) sebesar 83 mm, dengan tinggi (h) sebesar 500 mm. Rasio diameter silinder pengganggu dengan diameter sudu turbin angin *Savonius* (d/D) sebesar 0,5 dan rasio jarak pusat silinder pengganggu dengan pusat turbin angin *Savonius* terhadap diameter sudu turbin angin *Savonius* (S/D) sebesar 1,6 dengan variasi kecepatan angin sebesar 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, 6 m/s, 7 m/s, 8 m/s, dan 9 m/s. Hasil yang dicapai pada penelitian ini yaitu pemberian silinder pengganggu didepan *returning blade* turbin angin *Savonius* dengan rasio $S/D = 1,6$ dan $d/D = 0,5$ efektif dalam meningkatkan *Coefficient of Power*, *Coefficient of Moment* serta kemampuan *Self-Starting*. *Coefficient of Power* yang paling tertinggi terletak pada kecepatan angin 5 m/s dengan nilai CoP maksimum sebesar 0,1225 atau sebesar 12,25% dengan kenaikan CoP sebesar 85,3% dibandingkan dengan tanpa silinder pengganggu.

Kata Kunci—*Coefficient of Moment*, *Coefficient of Power*, Torsi Dinamis.

I. PENDAHULUAN

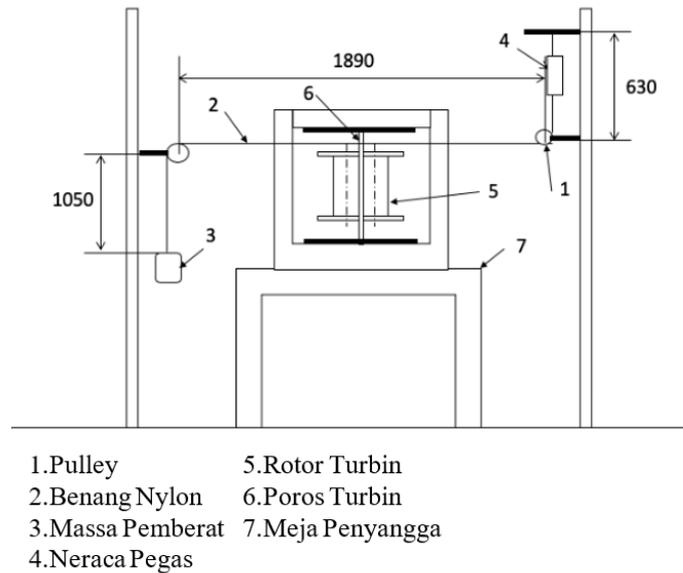
ENERGI Baru dan Terbarukan (EBT) menjadi pilihan dalam mengurangi krisis energi. Salah satu Energi Baru dan Terbarukan (EBT) yang cocok diterapkan di Indonesia adalah Energi Angin. Energi angin merupakan salah satu energi alternatif yang sangat menjanjikan karena wilayah Indonesia yang berada disekitar daerah ekuator dimana wilayah tersebut ditengarai memiliki potensi angin yang dapat dimanfaatkan untuk pengembangan energi terbarukan sebagai pembangkit listrik. Turbin Angin tipe *Savonius* adalah termasuk Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV).

Beberapa keuntungan dari Turbin Angin *Savonius* ini antara lain konstruksinya yang sederhana, rotor dapat menerima angin dari segala arah, tingkat keausan rendah pada komponen-komponen yang berputar, serta memiliki momen statik dan dinamik yang tinggi [1]. Rotor turbin angin *Savonius* terdiri dari *Returning Blade* dan *Advancing Blade*. Turbin Angin *Savonius* ini dapat berputar akibat adanya gaya *drag* dari kedua *blade*/sudu tersebut dimana perbedaan *drag coefficient* dari sudu menghasilkan selisih gaya *drag* dan selisih gaya *drag* jika dikalikan dengan jari-jari turbin *Savonius* akan menghasilkan torsi. Torsi jika dikalikan dengan kecepatan *angular* dari turbin akan menghasilkan

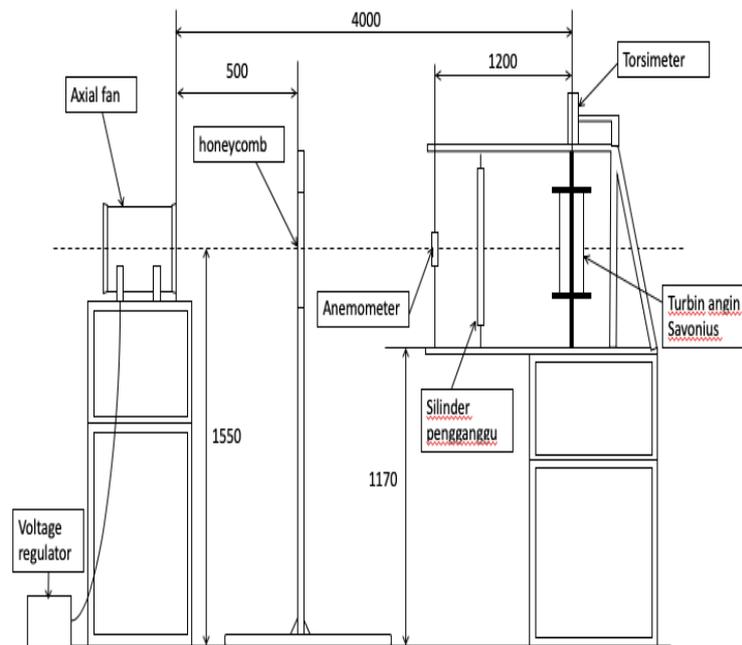
daya turbin. Putaran dari rotor turbin akan diubah menjadi energi listrik oleh generator. Namun, Turbin Angin *Savonius* ini memiliki efisiensi yang rendah sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi turbin angin *Savonius* ini.

Penelitian terdahulu untuk meningkatkan efisiensi Turbin Angin *Savonius* telah dilakukan oleh [2]. Penelitian ini memperkenalkan penambahan penghalang pada rotor berupa dua plat datar atau disebut *Curtain Arrangement*. Penelitian ini menghasilkan bahwa nilai *Coefficient of Performance* (CoP) meningkat sebesar 38,5% dibandingkan dengan rotor tanpa penghalang. Kondisi optimum terjadi pada *curtain* dengan panjang l_1 sebesar 45 cm dan l_2 sebesar 52 cm dengan $\alpha = 45^\circ$ dan $\beta = 15^\circ$. Penelitian meningkatkan performa turbin angin *Savonius* dengan memvariasikan geometrinya telah dilakukan oleh [3]. Geometri turbin angin *Savonius* yang divariasikan dalam penelitian ini antara lain jumlah dari *blade*, jumlah *stage*, *overlap ratio*, *aspect ratio* dan ada atau tidaknya *end plate*. Hasil dari penelitian ini yaitu turbin angin *Savonius* dengan dua *blade* (2b) memiliki efisiensi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan turbin angin *Savonius* yang menggunakan tiga *blade* (3b) dan empat *blade* (4b), turbin angin *Savonius* dengan *end plate* memiliki efisiensi yang lebih tinggi daripada turbin angin *Savonius* tanpa menggunakan *end plate*, turbin angin *Savonius* dengan *double stage rotor* memiliki performansi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan turbin angin *Savonius* dengan *single stage rotor*.

Rotor turbin *Savonius* tanpa *overlap ratio* (β) lebih baik jika dibandingkan dengan menggunakan *overlap ratio* (β) serta dalam penelitian ini semakin meningkatnya nilai *aspect ratio* (α) maka semakin meningkat pula *Power Coefficient* dari turbin angin *Savonius*. Penelitian untuk meningkatkan performa Turbin Angin *Savonius* dengan pembeberian silinder sirkular sebagai pengganggu aliran yang diletakkan didepan *Returning Blade* Turbin Angin *Savonius* dilakukan oleh [4]. Penelitian ini menggunakan variasi rasio diameter pengganggu terhadap diameter silinder utama (d/D) sebesar 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0 dengan jarak dari titik pusat turbin angin sampai titik pusat silinder pengganggu terhadap diameter turbin (S/D) = 1,6 serta variasi bilangan *Reynolds* sebesar 97.000 dan 136.000. Tujuan pemberian silinder pengganggu didepan *returning blade* yaitu untuk mengurangi gaya *drag* pada sisi *returning blade* turbin angin *savonius*. Kesimpulan akhir dari penelitian ini adalah penambahan silinder pengganggu didepan *Returning Blade*



Gambar 1. Mekanisme Brake Dynamometer



Gambar 2. Skema Penelitian

turbin angin *Savonius* dengan jarak $S/D = 1,6$ pada seluruh d/D efektif dalam meningkatkan nilai *coefficient of power* maksimum di kedua variasi bilangan Reynolds. Pada *Reynold Number* 97.000 nilai *CoP* paling tertinggi terletak pada $d/D = 0,5$ dengan kenaikan sebesar 44,74%. Untuk *Reynolds Number* 136.000 nilai *CoP* maksimum tertinggi juga terletak pada $d/D = 0,5$ dengan kenaikan *CoP* sebesar 40,48%. Penelitian untuk meningkatkan performansi turbin angin *Savonius* dengan memberikan pengganggu didepan *Returning Blade* dengan metode simulasi juga telah dilakukan oleh [5]. Penelitian ini menggunakan pengganggu berupa *I-65° type cylinder* yang dipasang didepan *Returning Blade* Turbin Angin *Savonius* dengan menggunakan rasio jarak pusat silinder pengganggu dengan diameter sudu turbin (S/D) sebesar 1.4 dengan kecepatan *free stream* aliran sebesar 5 m/s atau dengan *Reynolds Number* sebesar $9,9 \times 10^4$. Hasil dari penelitian ini yaitu turbin angin *Savonius* dengan pengganggu berupa silinder tipe *I-65°* dapat

meningkatkan *Coefficient of Power* sebesar 23,61% dibandingkan tanpa menggunakan silinder pengganggu.

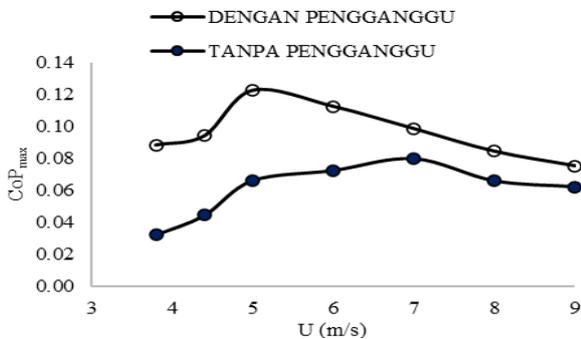
II. METODOLOGI

A. Skema dan Metode Penelitian

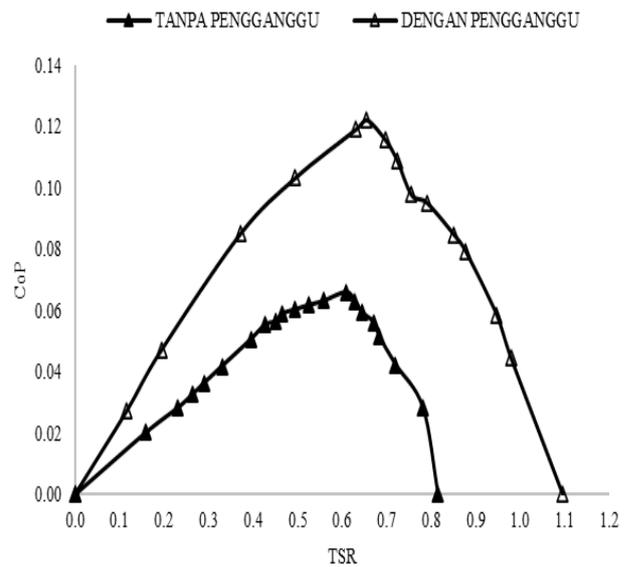
Penelitian pemberian silinder sirkular sebagai pengganggu aliran yang diletakkan didepan *Returning Blade* bertujuan untuk memperkecil gaya drag dari *Returning Blade*. Dalam hal ini untuk memperkecil gaya drag dari *Returning Blade* maka diberikan sebuah silinder sirkular sebagai pengganggu aliran yang diletakkan didepan sisi *Returning Blade* turbin angin *Savonius*. Pemberian silinder sirkular tersebut diduga dapat menurunkan tekanan didepan *Returning Blade* sehingga gaya drag disisi *Returning Blade* menurun sehingga dan selisih gaya drag dari kedua blade membesar dan torsi dari turbin akan naik serta menghasilkan daya turbin yang semakin besar sehingga nilai *Coefficient of Power* semakin

Tabel 1.
Hasil Perhitungan Uncertainty pada Parameter Penelitian

PARAMETER	UNCERTAINTY
Tip Speed Ratio (λ)	0,68%
Coefficient of Power (CoP)	5,62%
Coefficient of Moment (C_M)	5,58%
Reynolds Number	1,4%



Gambar 3. Grafik Perbandingan CoP max sebagai fungsi Kecepatan Turbin Angin Savonius dengan dan tanpa pengganggu



Gambar 4. Grafik CoP = f(SR) pada U = 5 m/s

meningkat. Pada penelitian ini menggunakan dua buah sudu dengan dimensi yaitu diameter sudu turbin (D) sebesar 167 mm; diameter *end plate* (D_e) sebesar 320 mm; tinggi rotor turbin (H) sebesar 298 mm; dan diameter poros (b) sebesar 19 mm. Silinder pengganggu yang digunakan pada penelitian ini memiliki dimensi yaitu sebagai berikut: diameter (d) sebesar 83 mm; tinggi (t) sebesar 500 mm dengan jarak dari titik pusat turbin angin sampai titik pusat silinder pengganggu terhadap diameter turbin (S/D) = 1,6. Pemilihan rasio jarak pusat silinder pengganggu dengan diameter sudu turbin angin *Savonius* sebesar 1,6 berdasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh [6], dimana pada penelitian tersebut menyatakan bahwa jarak penempatan silinder pengganggu yang paling efektif dalam menurunkan tekanan di depan silinder utama adalah ketika rasio L/D sebesar 1,5 hingga 2,5.

Selain itu pada penelitian Rizky [4] menyatakan kondisi optimum dicapai pada SD = 1,5 dan d/D = 0,5. Penelitian ini menggunakan kecepatan angin sebesar 3,8 m/s; 4,4 m/s; 5 m/s; 6 m/s; 7 m/s; 8 m/s dan 9 m/s dengan nilai Reynolds Number sebesar 7,4 x 10⁴ hingga 18,5 x 10⁴ yang bersumber dari Axial Fan CKE SPV-18. Untuk menyeragamkan aliran digunakan *Honeycomb* yang dipasang di depan Axial Fan dengan jarak 500 mm. Dalam hal ini Reynolds Number didapatkan dengan panjang karakteristik L = (2D - e - 2t). Torsi dinamis turbin angin Savonius diukur dengan mekanisme *Brake Dynamometer* yang berbasis pada penelitian yang dilakukan oleh Mahmood et al [2] sebagai referensi. Mekanisme *Brake Dynamometer* terdiri atas *pulley*, benang *nylon*, massa pemberat serta neraca pegas, dimana massa pemberat ini dihubungkan ke neraca pegas dengan menggunakan benang *nylon* yang sudah dililitkan ke *pulley* yang berfungsi untuk mengatur putaran poros turbin. Mekanisme *Brake Dynamometer* dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini:

Skema penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 2 dimana turbin angin *Savonius* dipasang dengan jarak 4000 mm di depan exit Axial Fan. Spesifikasi *Axial Fan* yaitu CKE-SPV 18 dengan diameter 450 mm, speed 2850 rpm, air flow 4413 CMF, dengan daya 1700 watt. Untuk mengatur kecepatan angin yang diinginkan, *axial fan* dihubungkan dengan *Voltage Regulator* Model TDGC 2J-3.

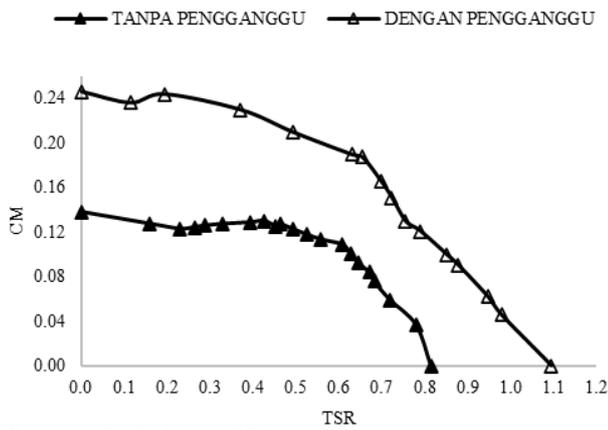
Sebuah *honeycomb* dipasang di depan exit Axial Fan dengan jarak 500 mm yang bertujuan untuk membuat aliran menjadi *uniform*. Kecepatan angin yang keluar dari axial fan diukur dengan menggunakan digital Anemometer tipe Omega HHF 141 dengan range kecepatan 1,5 m/s – 35 m/s dengan ketelitian 0,01 m/s. Putaran poros turbin angin *Savonius* diukur dengan menggunakan Tachometer OMEGA seri HHT12 dengan range kecepatan putaran 5 – 99.999 rpm dengan resolusi 0,001 hingga 0,1 rpm. Torsi statis turbin angin Savonius diukur dengan menggunakan *Torque Meter* dengan tipe LUTRON Model TQ-8800 dengan range 0 hingga 147,1 N.cm dengan keakuratan sebesar 0,01 Ncm. Neraca pegas Nagata dengan kapasitas 0 kg hingga 3 kg dengan ketelitian 10 gram dipasang untuk mengetahui hasil pembacaan massa pemberat untuk perhitungan Torsi Dinamis. Torsi dinamis turbin angin *Savonius* didapatkan dengan memberikan pembebanan secara berkala dengan kondisi tanpa pembebanan dengan massa pemberat awal sebesar 20 gram hingga pembebanan dalam kondisi maksimal. Pembebanan terus dilakukan hingga turbin angin berhenti berputar. Kondisi tersebut menghasilkan nilai *Tip Speed Ratio* turbin angin Savonius pada range 0 < λ < 1,2. Dalam hal ini nilai *Coefficient of Power* maksimum didapatkan pada TSR tertentu. Berikut ini merupakan gambar skema penelitian.

B. Perhitungan Data Penelitian

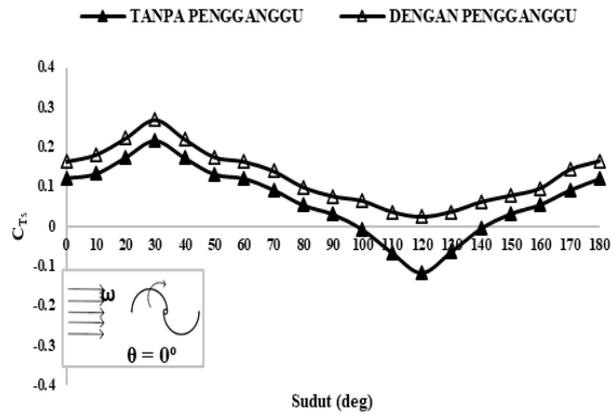
Pada penelitian ini menggunakan beberapa perumusan untuk mendapatkan nilai Torsi Dinamis, nilai *Coefficient of Power*, serta nilai *Coefficient of Moment*. Variasi kecepatan pada penelitian ini digunakan untuk menghitung Reynolds Number. Reynolds Number pada penelitian ini dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Re_L = \frac{\rho U L}{\mu} = \frac{\rho U (2D - e - 2t)}{\mu} \tag{1}$$

Dimana L adalah panjang karakteristik yang didapatkan dengan rumus (2D-e-2t) dimana D merupakan diameter sudu turbin (m); e merupakan diameter *overlap* (m); t merupakan ketebalan sudu turbin (m); ρ merupakan densitas (kg/m³) dan μ merupakan viskositas dinamik (kg/ m.s) dengan U merupakan kecepatan aliran angin (m/s). Dalam hal ini torsi



Gambar 5. Grafik $C_M = f(TSR)$ pada $U = 5$ m/s



Gambar 6. Grafik Static Torque Coefficient Sebagai Fungsi Posisi Sudut Blade Pada $U = 5$ m/s

dinamis yang dihasilkan pada penelitian digunakan untuk menghitung *Mechanical Power* (P_m) dengan rumus sebagai berikut:

$$P_m = T_D \cdot \omega \tag{2}$$

Dimana T_D merupakan torsi dinamis (N.m) dan ω merupakan kecepatan sudut (rad/s). Torsi dinamis dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$T_D = F \cdot r = |m - s| \cdot g \cdot r \tag{3}$$

F merupakan gaya yang bekerja pada silinder yang menerima beban pada mekanisme *brake dynamometer*, sedangkan r merupakan radius dari silinder tersebut. Pada rumus diatas, m merupakan massa pemberat (kg) dan s merupakan hasil pembacaan dari neraca pegas (kg). Kecepatan sudut turbin dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \tag{4}$$

Dimana n merupakan putaran poros turbin angin *Savonius* (rpm). Setelah didapatkan kecepatan sudut (ω), *Tip Speed Ratio* turbin dapat dihitung dengan persamaan:

$$TSR = \lambda = \frac{\omega R}{U} \tag{5}$$

Dimana R merupakan jari-jari sudu turbin (m). *Coefficient of Moment* turbin angin *Savonius* merupakan perbandingan antara torsi dinamis turbin dengan torsi teoritisnya. *Coefficient of Moment* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$C_m = \frac{4 T_D}{\rho U^2 A L} \tag{6}$$

Pada rumus diatas, A merupakan cross sectional area (m^2) yang dihitung dengan rumus berikut ini:

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

Dimana H merupakan ketinggian rotor turbin angin *Savonius*.

Dalam hal ini, *Coefficient of Power* Turbin Angin *Savonius* merupakan perbandingan antara Daya Mekanik dengan Daya Angin yang dapat dituliskan dengan persamaan berikut:

$$CoP = \frac{P_m}{P_w} \tag{7}$$

Daya angin (P_w) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$P_w = \frac{1}{2} \rho U^3 A \tag{8}$$

Dengan mensubstitusi persamaan (2), (3), (4), (8), maka persamaan *Coefficient of Power* menjadi:

$$CoP = \frac{|m-s| \cdot g \cdot r \cdot \omega}{\rho U^3 A} \tag{9}$$

Perhitungan hasil uncertainty *Coefficient of Moment* dan *Coefficient of Power* pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. *Coefficient of Power*

Gambar 3 merupakan grafik *Coefficient of Power* maksimum sebagai fungsi kecepatan angin untuk variasi kecepatan 3,8 m/s; 4,4 m/s; 5 m/s; 6 m/s; 7 m/s; 8 m/s; dan 7 m/s pada turbin angin *Savonius* tanpa dan dengan silinder pengganggu dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

Berdasarkan grafik pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa kedua grafik memiliki *trendline parabolic* dimana grafik turbin angin *Savonius* dengan silinder pengganggu berada di atas grafik turbin angin *Savonius* tanpa silinder pengganggu dengan nilai CoP_{max} turbin angin *Savonius* dengan pengganggu sebesar 0,1225 pada kecepatan angin 5 m/s, sedangkan pada turbin angin *Savonius* tanpa menggunakan silinder pengganggu nilai CoP_{max} sebesar 0,0797 pada kecepatan angin 7 m/s. Secara keseluruhan pemberian silinder pengganggu dengan rasio jarak S/D sebesar 1,6 dengan rasio d/D sebesar 0,5 efektif dalam meningkatkan nilai *Coefficient of Power* turbin angin *Savonius* pada seluruh variasi kecepatan. Hal tersebut disebabkan karena pemberian silinder pengganggu didepan *returning blade* dapat menurunkan gaya *drag* pada sisi *Returning Blade*.

Nilai CoP maksimum turbin angin *Savonius* dicapai pada kecepatan angin 5 m/s dengan menggunakan silinder pengganggu yaitu sebesar 0,1225 atau setara dengan 12,25%. Grafik CoP sebagai fungsi TSR dapat dilihat pada Gambar 4.

Pada kecepatan angin 5 m/s, turbin angin dengan silinder pengganggu memiliki nilai *Coefficient of Power* maksimal yang lebih besar dibandingkan dengan turbin angin *Savonius* tanpa silinder pengganggu. Nilai *Coefficient of Power* maksimum turbin angin *Savonius* dengan silinder pengganggu yaitu sebesar 0,1225 pada TSR 0,655 sedangkan pada turbin angin tanpa silinder pengganggu nilai *Coefficient*

of Power maksimal sebesar 0,0661 pada TSR 0,608 dengan kenaikan CoP sebesar 0,0564, dimana terjadi kenaikan CoP sebesar 85,3% dibanding tanpa silinder pengganggu. Pada kecepatan 5 m/s TSR berada pada range $0 < \lambda < 1,09$.

B. Coefficient of Moment

Gambar 5 merupakan grafik nilai C_M turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu terhadap fungsi TSR dengan rasio jarak pusat silinder pengganggu dengan diameter sudu turbin (S/D) sebesar 1,6 dan rasio diameter pengganggu dengan diameter sudu turbin (d/D) sebesar 0,5 pada kecepatan 5 m/s .

Berdasarkan grafik pada Gambar 5 terlihat bahwa trendline dari kedua grafik menurun seiring bertambahnya nilai TSR. Nilai TSR maksimum mengindikasikan turbin angin Savonius berputar tanpa pembebanan sedangkan TSR minimum mengindikasikan turbin angin Savonius berhenti berputar akibat adanya pembebanan yang paling maksimum. Sehingga pada TSR = 0 mengindikasikan turbin angin memiliki torsi dinamis yang paling maksimal. Pada turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu memiliki nilai C_M sebesar 0,1379 pada TSR 0 sedangkan pada turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu memiliki nilai C_M sebesar 0,2459 pada TSR 0. Nilai C_M maksimum turbin angin dengan silinder pengganggu meningkat sebesar 78,3% dibandingkan dengan tanpa silinder pengganggu. Hal tersebut disebabkan karena pemberian silinder pengganggu didepan *returning blade* dapat menurunkan gaya drag pada *returning blade*. Menurunnya gaya drag pada *returning blade* menyebabkan selisih gaya drag dari kedua *blade* meningkat sehingga torsi dinamis turbin angin Savonius juga meningkat. Meningkatnya torsi dinamis tersebut menghasilkan nilai *Coefficient of Moment* juga meningkat.

C. Kemampuan Self-Starting

Dalam penelitian ini dibahas pula peningkatan kemampuan *self-starting* turbin angin Savonius. Pemberian silinder pengganggu didepan *Returning Blade* turbin angin Savonius dengan rasio S/D = 1,6 dan d/D = 0,5 pada kecepatan 5 m/s paling efektif dalam meningkatkan kemampuan *self-starting* turbin angin Savonius dimana nilai Torsi Statis yang dihasilkan meningkat dibandingkan dengan nilai torsi statis tanpa menggunakan silinder pengganggu, selain itu pada kecepatan angin 5 m/s tersebut nilai torsi statis berada pada kisaran nilai positif pada semua posisi sudut *blade* yang mengindikasikan bahwa pada kecepatan angin tersebut turbin angin mampu berputar dengan sendirinya tanpa diberikan gaya eksternal pada seluruh posisi sudut *blade* (θ). Berikut ini merupakan grafik *Static Torque Coefficient* sebagai fungsi posisi sudut *blade*.

Gambar 6 merupakan grafik *Static Torque Coefficient* sebagai fungsi posisi sudut *blade* dilakukan pada turbin angin Savonius dengan menggunakan silinder pengganggu dengan variasi posisi sudut *blade* dari 0° hingga 180° dengan kenaikan 10° setiap sudutnya. Nilai *Static Torque Coefficient* bervariasi dari -0,116 hingga 0,2698 dengan nilai *Static Torque Coefficient* maksimum turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu pada kecepatan 5 m/s sebesar 0,2698 dan nilai torsi statis minimal sebesar -0,025. Sedangkan pada turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu memiliki nilai *Static Torque Coefficient* maksimum sebesar 0,217

sedangkan nilai torsi statis minimum sebesar -0,116. Nilai *Static Torque Coefficient* maksimum pada kedua grafik terjadi ketika posisi sudut *blade* 30° sedangkan nilai *Static Torque Coefficient* minimum pada kedua grafik terjadi ketika posisi sudut *blade* 120° . Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa grafik *Static Torque Coefficient* turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu berada diatas grafik turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu sehingga dapat disimpulkan bahwa pemberian silinder pengganggu dengan rasio jarak S/D sebesar 1,6 dengan rasio d/D sebesar 0,5 pada kecepatan 5 m/s efektif dalam meningkatkan nilai *Static Torque Coefficient* dimana nilai *Static Torque Coefficient* sebanding dengan nilai torsi statis turbin angin Savonius dimana turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu memiliki nilai torsi statis yang lebih besar dibandingkan dengan tanpa silinder pengganggu. Kenaikan nilai *Static Torque Coefficient* tersebut disebabkan karena pemberian silinder pengganggu eekti menurunkan gaya drag *Returning Blade* sehingga *advancing blade* turbin angin Savonius menerima gaya drag yang lebih besar dibandingkan dengan *returning blade* sehingga turbin dapat berputar tanpa diberikan gaya eksternal.

IV. KESIMPULAN

Turbin Angin Savonius memiliki beberapa kelebihan yaitu konstruksinya yang sederhana, rotor dapat menerima angin dari segala arah, tingkat keausan rendah pada komponen-komponen yang berputar, serta memiliki momen statik dan dinamik yang tinggi Namun, Turbin Angin Savonius ini memiliki efisiensi yang rendah sehingga dilakukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi turbin angin Savonius ini sehingga menghasilkan nilai *Coefficient of Power* yang meningkat serta kemampuan *self-starting* juga meningkat. Dengan adanya beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, pemberian penghalang berupa silinder sirkular didepan *Returning Blade* perlu untuk dilakukan dan diduga dapat meningkatkan performa dari Turbin Angin Savonius, maka dalam hal ini dilakukan sebuah penelitian yaitu pengaruh pemberian silinder pengganggu didepan *Returning Blade* terhadap peningkatan performa turbin angin Savonius dengan rasio S/D = 1,6 dan d/D = 0,5. Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pemberian silinder pengganggu dengan rasio S/D = 1,6 dan d/D 0,5 efektif dalam meningkatkan nilai *Coefficient of Power*, *Coefficient of Moment*, serta kemampuan *self-starting* turbin angin Savonius pada ketujuh variasi kecepatan.

Pemberian silinder pengganggu efektif dalam menurunkan tekanan didepan *Returning Blade* Turbin Angin Savonius sehingga gaya drag pada *Returning Blade* menjadi menurun, selisih gaya drag dari kedua *blade* menjadi meningkat sehingga selisih torsi dari kedua *blade* meningkat menyebabkan daya turbin angin Savonius juga meningkat. Selain itu pemberian silinder pengganggu juga efektif dalam mengganggu *Boundary Layer Returing Blade* karena *shear layer* yang terlepas dari silinder pengganggu jatuh pada permukaan depan *Returning Blade* menyebabkan proses transisi aliran dari laminar menuju turbulen menjadi lebih cepat sehingga titik separasi tertunda dan *wake* yang dihasilkan menyempit dan gaya drag pada *returning blade* menurun.

Pemberian silinder pengganggu didepan Returning Blade Turbin Angin Savonius dengan rasio $S/D = 1,6$ dan $d/D = 0,5$ dengan kecepatan angin 5 m/s paling efektif dalam meningkatkan nilai *Coefficient of Power*, *Coefficient of Moment*, serta *Static Torque Coefficient*. Nilai CoP meningkat 85,3% dibandingkan dengan turbin angin tanpa silinder pengganggu, selain itu nilai C_M meningkat 78,3% dibandingkan dengan turbin angin tanpa silinder pengganggu. Kemampuan self-starting turbin angin Savonius pada kecepatan 5 m/s meningkat dimana nilai Torsi Statisnya bernilai positif pada seluruh posisi sudut blade.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. V. Akwa, H. A. Vielmo, and A. P. Petry, "A review on the performance of Savonius wind turbines," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 5, pp. 3054–3064, 2012, doi: 10.1016/j.rser.2012.02.056.
- [2] B. D. Altan, M. Atilgan, and A. Özdamar, "An experimental study on improvement of a Savonius rotor performance with curtaining," *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 32, no. 8, pp. 1673–1678, 2008, doi: 10.1016/j.expthermflusci.2008.06.006.
- [3] 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.
- [4] M. R. Ramadhan, "Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Ukuran Diameter Silinder Didepan Sisi Returning Blade Terhadap Kinerja Turbin Angin Savonius," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2019.
- [5] G. Sakti, T. Yuwono, and W. A. Widodo, "Experimental and numerical investigation of I-65⁰ type cylinder effect on the Savonius wind turbine performance," *Int. J. Mech. Mechatronics Eng.*, vol. 19, no. 5, pp. 115–125, 2019.
- [6] J. J. Wang, P. F. Zhang, S. F. Lu, and K. Wu, "Drag reduction of a circular cylinder using an upstream rod," *Flow, Turbul. Combust.*, vol. 76, no. 1, pp. 83–101, 2006, doi: 10.1007/s10494-005-9008-0.