

Studi Eksperimen Pengaruh Silinder Pengganggu Di Depan *Returning Blade* Turbin Angin Savonius Terhadap Performa Turbin

“Studi Kasus Untuk Rasio Diameter Silinder Pengganggu Terhadap Diameter Turbin (d/D) = 0,75 “

Retno Dewi Pamungkas dan Triyogi Yuwono

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

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

Abstrak—Indonesia merupakan negara yang memiliki sumber daya alam yang melimpah, dimana sumber daya alam tersebut dapat dijadikan sebagai sumber energi. Seiring berjalannya waktu, ketersediaannya semakin menipis. Untuk mengatasi ketergantungan energi fosil, maka perlu pengembangan untuk mendapatkan sumber energi terbarukan. Energi terbarukan yang belum banyak dimanfaatkan secara optimal dan berpotensi untuk dikembangkan adalah energi angin. Dengan meletakkan silinder pengganggu di depan *returning blade* turbin angin tipe Savonius, maka performa turbin angin dapat ditingkatkan. Hal tersebut merupakan tujuan dari penelitian ini. Untuk meningkatkan performa turbin angin Savonius yang berdiameter (D) = 60 mm dan tinggi (H) = 80 mm, digunakan silinder yang berdiameter (d) = 45 mm yang diletakkan di depan *returning blade* turbin. Pengganggu diletakkan dengan variasi jarak $1,5 \leq S/D \leq 2,4$. Penelitian dilakukan di dalam *open circuit wind tunnel*, dengan dimensi tes uji; panjang 457 mm, lebar 304 mm dan tinggi 304 mm. Pada kecepatan angin masuk sebesar 8,77 m/s; 10,97 m/s; 13,16 m/s yang sesuai dengan $Re = 6,0 \times 10^4$; $7,5 \times 10^4$; $9,0 \times 10^4$ Kecepatan angin diukur menggunakan *pitot-static tube* yang terhubung dengan *inclined manometer*. Putaran dari turbin angin diukur menggunakan tachometer, torsi statis menggunakan *torque meter* dan daya turbin angin diperoleh dengan mengukur tegangan dan kuat arus yang dihasilkan oleh generator yang terhubung dengan poros turbin Savonius. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah penggunaan silinder pengganggu yang diletakkan di depan *returning blade* terbukti efektif meningkatkan performa turbin angin. Selain itu, variasi jarak S/D yang diteliti berpengaruh terhadap performa turbin Savonius. Untuk semua bilangan Reynolds yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan bahwa jarak $S/D = 1,7$ terbukti efektif meningkatkan performa turbin Savonius yang digunakan dalam penelitian. Hal ini ditandai dengan *peak value* dari putaran, torsi statis dan *coefficient of power* turbin.

Kata Kunci—Turbin Savonius, Silinder Pengganggu, Jarak S/D dan Performa Turbin.

I. PENDAHULUAN

Untuk mengatasi ketergantungan energi fosil, maka perlu pengembangan untuk mendapatkan sumber energi terbarukan. Energi terbarukan yang belum banyak dimanfaatkan secara optimal dan berpotensi untuk dikembangkan adalah energi angin. Turbin angin

Savonius adalah jenis turbin angin tipe *drag*, yaitu turbin ini menghasilkan daya dengan memanfaatkan gaya *drag* yang dihasilkan dari tiap-tiap sudunya. Selisih gaya *drag* dari *advancing blade* dan *returning blade* akan menghasilkan torsi, yang apabila dikalikan dengan kecepatan angular dari turbin angin maka akan menghasilkan daya turbin angin tersebut. Apabila selisih gaya *drag* semakin besar, maka daya yang dihasilkan pun semakin besar pula. Salah satu cara untuk memperbesar selisih gaya *drag* adalah dengan mengurangi gaya *drag* pada *returning blade*.

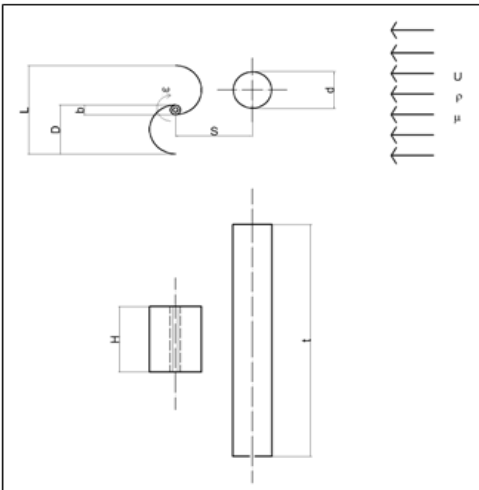
Penelitian dengan memvariasikan diameter silinder pengganggu (d/D), jarak antara kedua pusat silinder (L/D) dan harga bilangan Reynolds. Hasil penelitian tersebut mendapatkan bahwa penurunan harga koefisien *drag* (C_D) disebabkan oleh peningkatan bilangan Re , d/D dan penurunan harga L/D . Sedangkan pengurangan *pressure drag* didominasi oleh perubahan harga Re . Kondisi optimum penurunan harga *pressure drag coefficient* (C_{DP}) diperoleh pada nilai $d/D = 0,25$; $L/D = 2$ untuk Re kurang dari $4,1 \times 10^4$ dan diperoleh C_D sebesar 73% dibanding pada silinder tunggal [1]. Selanjutnya, penelitian dilakukan pada turbin angin Savonius diberi pengganggu berupa dua buah plat yang diposisikan di depan turbin dengan variasi panjang plat (ℓ_1 dan ℓ_2) dan besar sudut plat (α dan β) dengan kecepatan angin 7 m/s dan bilangan Reynolds $1,5 \times 10^5$. Hasil penelitian didapatkan bahwa *Coefficient of Power* (Cop) dari turbin angin Savonius dapat meningkat hingga 38,5% apabila diberi pengganggu dengan susunan yang optimal, yaitu dengan panjang plat pengganggu ℓ_1 sebesar 45 cm dan ℓ_2 sebesar 52 cm dengan sudut sudu pengganggu $\alpha = 45^\circ$ dan $\beta = 15^\circ$ [2]. Penelitian tentang simulasi dengan software CFD pada turbin angin Savonius yang diberi pengganggu berupa plat yang diposisikan di depan turbin dengan variasi besar sudut plat (β) dan *speed ratio* (λ) dengan kecepatan angin 10 m/s. Hasil simulasi didapatkan bahwa *Coefficient of Power* (Cop) dari turbin angin Savonius dapat meningkat hingga 27,3% pada *speed ratio* 0,7 dan besar sudut $\beta = 100,83^\circ$ dengan menggunakan dua buah sudu berpengganggu [3].

Tujuan penelitian ini adalah untuk meningkatkan performa dari turbin angin tipe Savonius dengan mengurangi gaya *drag* pada sisi *returning blade* dan mempelajari secara rinci pengaruh jarak antara pusat

returning blade turbin angin dan silinder pengganggu (S/D) terhadap performa turbin angin, yaitu dengan mengukur torsi statis dan putaran turbin, kemudian menghitung *coefficient of power* (*Cop*) dari turbin angin.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Gambar 1 menunjukkan skema penelitian (pandangan atas dan samping) dan parameter-parameter pengujian. Parameter-parameter yang mempengaruhi karakteristik aliran adalah densitas fluida (ρ), viskositas fluida (μ), kecepatan fluida (U), diameter silinder pengganggu (d), diameter turbin (D), jarak antara pusat *returning blade* turbin angin dan silinder pengganggu (S/D), tinggi turbin (H), panjang silinder pengganggu (t), diameter overlap (b) dan putaran sudu (n).



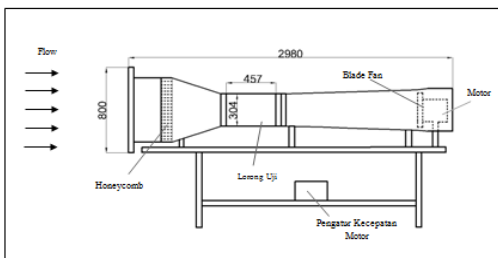
Gambar 1. Skema Penelitian dari pandangan atas dan samping

Skema *wind tunnel* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.

A. Spesifikasi Wind Tunnel

Jenis wind tunnel : subsonic, open circuit wind tunnel
Bentuk saluran uji : penampang segi 8

- Panjang : 457 mm
- Tinggi : 304 mm
- Lebar : 304 mm

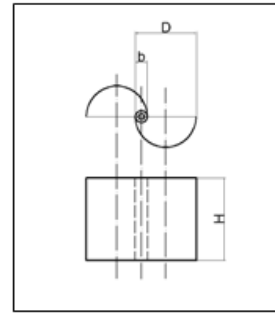


Gambar 2. Skema Wind Tunnel Sub Sonic

B. Benda Uji

1) Profil turbin angin tipe Savonius dapat dilihat pada gambar 3. Dengan dimensi sebagai berikut :

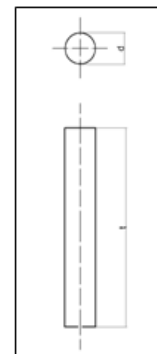
- Diameter (D) : 60 mm
- Tinggi (H) : 80 mm
- Overlap (b) : 14 mm



Gambar 3. Turbin Savonius

2) Profil Silinder Pengganggu dapat dilihat pada gambar 4. Dengan dimensi sebagai berikut :

- Diameter (d) : 45 mm
- Panjang (L) : 280 mm
- Jarak dari pusat *returning blade* turbin angin (S/D) = $1,5 \leq S/D \leq 2,4$



Gambar 4. Silinder Sirkular sebagai Pengganggu

C. Alat Ukur

1) *Tachometer*

Tachometer yang digunakan yaitu **Economical Non-Contact Pocket Optical Tachometer OMEGA seri HHT12** dengan akurasi pembacaan 0.01% atau ± 1 digit dan range pengukuran antara 5 sampai 99.999 rpm.

2) *Torque meter*

Torque meter yang digunakan yaitu **LUTRON model : TQ-8800** dengan *high resolution* 0,1 Newton-cm.

3) *Multimeter*

Multimeter yang digunakan yaitu **Sanwa Multimeter Digital CD-771** dengan ketelitian 0.1% atau ± 1 digit.

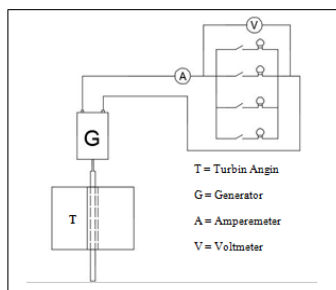
a. Pitot Static Tube

b. Manometer

c. Termometer

D. Metode Pengukuran Daya

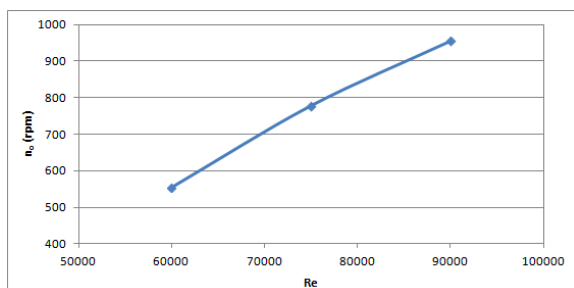
Pada penelitian ini untuk mengukur daya riil yang dihasilkan turbin Savonius digunakan generator listrik. Gambar 5 memperlihatkan skema rangkaian pengukuran daya. Poros turbin Savonius akan dihubungkan dengan poros generator listrik menggunakan *flexible coupling*. Output dari generator listrik akan diteruskan untuk menghidupkan beban berupa lampu. Banyaknya beban (lampu) dapat diatur menggunakan saklar untuk mendapatkan nilai daya terbesar. Pada rangkaian beban diukur nilai tegangan dan arus listrik yang akan digunakan dalam perhitungan untuk mendapatkan nilai daya riil.



Gambar 5. Skema Rangkaian Pengukuran Daya

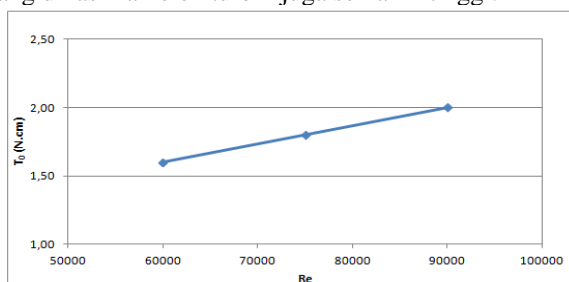
III. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

A. Data Tanpa Penambahan Silinder Pengganggu



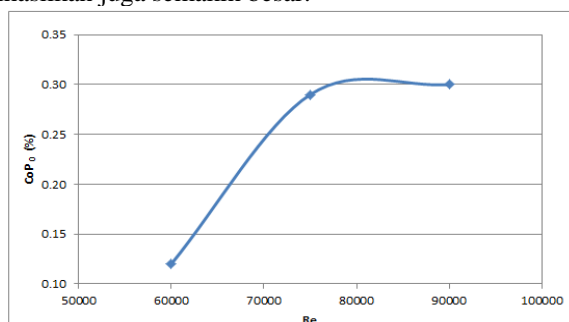
Gambar 6. Grafik putaran turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu sebagai fungsi bilangan Reynolds

Gambar 6 memperlihatkan bahwa seiring dengan meningkatnya bilangan Reynolds, maka putaran dari turbin angin Savonius juga semakin tinggi. Hal ini dikarenakan kecepatan angin yang menabrak turbin angin Savonius sangat berpengaruh terhadap putaran dari turbin. Semakin tinggi kecepatan angin, maka putaran yang dihasilkan oleh turbin juga semakin tinggi.



Gambar 7. Grafik torsi statis turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu sebagai fungsi bilangan Reynolds

Gambar 7 memperlihatkan bahwa seiring dengan meningkatnya bilangan Reynolds, maka torsi statis dari turbin angin Savonius juga semakin tinggi. Hal ini dikarenakan kecepatan angin yang menabrak turbin angin Savonius berpengaruh sangat berpengaruh terhadap torsi statis dari turbin angin. Semakin tinggi kecepatan angin, maka gaya yang digunakan untuk menahan turbin juga semakin tinggi. Sehingga torsi yang dihasilkan juga semakin besar.

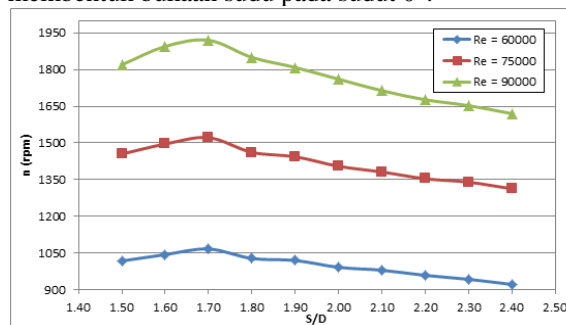


Gambar 8. Grafik coefficient of power turbin angin Savonius sebagai fungsi bilangan Reynolds

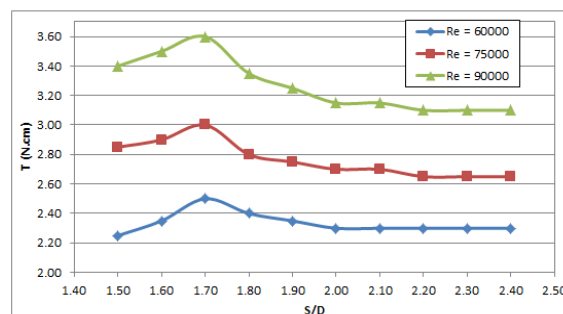
Gambar 8 memperlihatkan bahwa seiring dengan meningkatnya bilangan Reynolds, maka coefficient of power dari turbin angin Savonius semakin tinggi. Hal ini dikarenakan kecepatan angin yang menabrak turbin angin Savonius sangat berpengaruh terhadap coefficient of power dari turbin angin.

B. Data Performa Turbin Savonius dengan Penambahan Silinder Pengganggu

Gambar 9 dan gambar 10 memperlihatkan bahwa pada jarak S/D yang sama, seiring dengan meningkatnya bilangan Reynolds, maka putaran dan torsi statis dari turbin angin Savonius berpengaruh juga semakin tinggi. Torsi statis adalah torsi yang diukur ketika turbin angin berada dalam keadaan tidak berputar dan membentuk bukaan sudu pada sudut 0°.



Gambar 9. Grafik putaran turbin angin Savonius berpengaruh (n) sebagai fungsi jarak pada S/D = 1,5 – 2,4



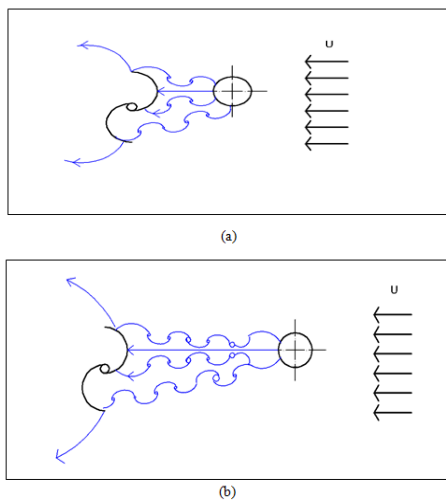
Gambar 10. Grafik torsi statis turbin angin Savonius berpengaruh (T) sebagai fungsi jarak pada S/D = 1,5 – 2,4

Gambar 9 dan 10 juga memperlihatkan bahwa pada bilangan Reynolds $6,0 \times 10^4$; $7,5 \times 10^4$ dan $9,0 \times 10^4$ nilai putaran dan torsi statis mengalami kenaikan dan penurunan. Pada jarak S/D 1,5 sampai dengan 1,7 nilai putaran dan torsi statis mengalami kenaikan. Sebaliknya, pada jarak S/D 1,7 sampai dengan 2,4 nilai putaran dan torsi statis mengalami penurunan.

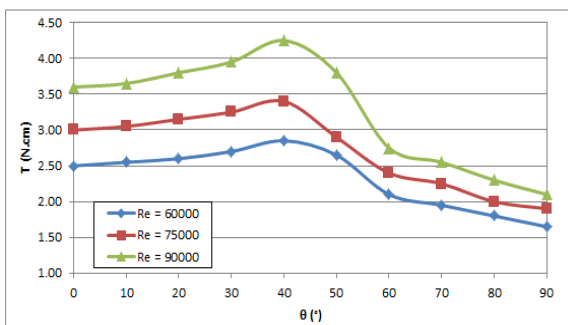
Penambahan silinder pengganggu di depan *returning blade* dapat mengurangi gaya *drag* pada *returning blade*. Dengan adanya penambahan pengganggu menyebabkan *shear layer* dari silinder pengganggu memberikan gangguan terhadap *boundary layer returning blade*. Sehingga *boundary layer returning blade* terganggu dan mempercepat transisi aliran dari laminar menjadi turbulen. Oleh karena itu momentum aliran di dekat dinding kontur *returning blade* menjadi lebih besar dan akibatnya aliran lebih dapat menahan *adverse pressure gradien* serta gaya gesek yang terjadi sehingga titik separasi mundur ke belakang dan daerah *wake* menyempit. Sehingga torsi yang dihasilkan oleh *returning blade* juga akan turun dan membuat selisih torsi antara *returning blade* dan *advancing blade* akan semakin besar.

Selain itu, dengan penambahan silinder pengganggu di depan *returning blade*, menyebabkan tekanan di depan *returning blade* akan menurun, sedangkan tekanan di belakang *returning blade* diasumsikan tetap sama seperti tidak menggunakan silinder pengganggu. Sehingga gaya *pressure drag* yang mengakibatkan selisih tekanan antara di depan dan di belakang *returning blade* menurun. Akibatnya selisih gaya *drag* antara *returning blade* dan *advancing blade* semakin besar. Hal ini akan menghasilkan torsi semakin besar.

Sebaliknya, pada jarak S/D 1,7 sampai dengan 2,4 nilai torsi statis mengalami penurunan. Selain pengaruh silinder pengganggu, variasi jarak juga memberikan efek pada *returning blade*. Pada variasi jarak yang dekat, *shear layer* dari silinder pengganggu akan sangat efektif mengganggu *boundary layer* dari *returning blade*. Apabila jarak silinder pengganggu semakin jauh, maka *shear layer* dari silinder pengganggu sudah semakin tidak efektif lagi mengganggu *boundary layer* *returning blade*, bahkan pada jarak yang sangat jauh akan seperti bila tidak ada pengganggu seperti terlihat pada ilustrasi gambar 11.

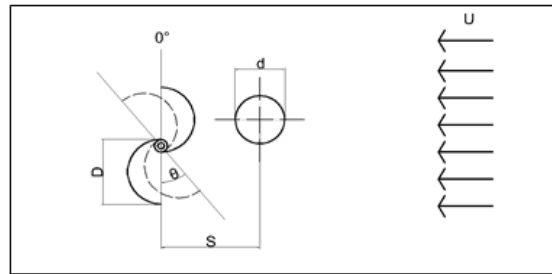


Gambar 11. (a) Ilustrasi aliran untuk turbin Savonius dengan penambahan silinder pengganggu pada jarak $S/D = 1,7$ (b) Ilustrasi aliran untuk turbin Savonius dengan penambahan silinder pengganggu pada jarak $S/D = 2$,

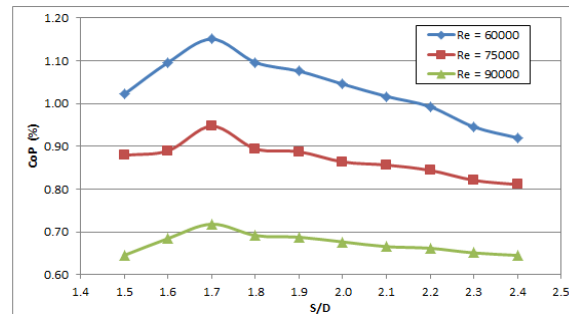


Gambar 12. Grafik torsi statis turbin angin Savonius berpengganggu (T) sebagai fungsi sudut (θ) pada jarak $S/D = 1,7$

Gambar 12 memperlihatkan grafik dalam nilai torsi statis sebagai fungsi sudut pada jarak S/D 1,7 dimana pada jarak S/D tersebut memiliki torsi statis paling besar. Penelitian dilakukan dengan sudut bukaan sudu pada rentang 0° sampai dengan 90° dengan kenaikan setiap 10° seperti pada gambar 13.

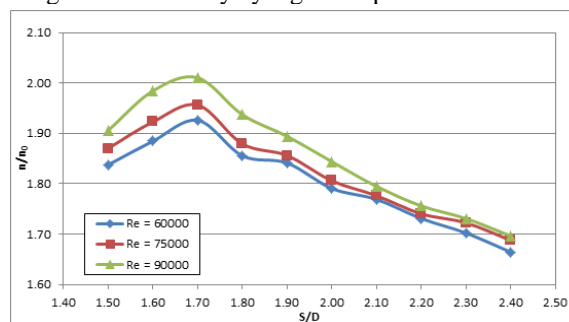


Gambar 13. Gambar posisi bukaan sudu Savonius pada berbagai sudut

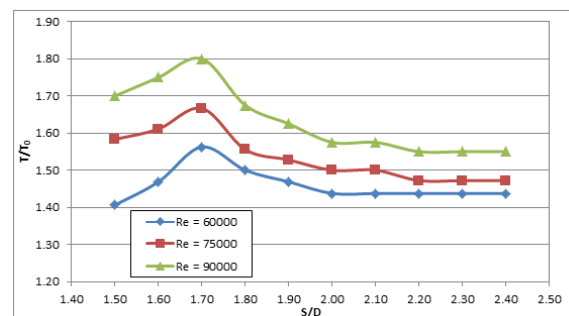


Gambar 14. Grafik *Coefficient of Power* turbin angin Savonius berpengganggu (CoP) sebagai fungsi jarak pada $S/D = 1,5 - 2,4$

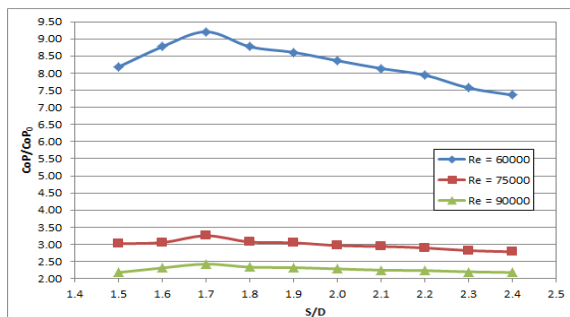
Gambar 14 memperlihatkan bahwa pada jarak S/D yang sama, seiring dengan meningkatnya bilangan Reynolds, maka *coefficient of power* dari turbin angin Savonius berpengganggu semakin rendah. Hal ini dikarenakan kecepatan angin yang menabrak turbin angin Savonius berpengganggu sangat berpengaruh terhadap *coefficient of power* dari turbin. Semakin tinggi kecepatan angin, maka *coefficient of power* yang dihasilkan oleh turbin semakin rendah. Hal ini dikarenakan kenaikan kecepatan yang besar tidak diiringi dengan kenaikan daya yang besar pula.



Gambar 15. Grafik perbandingan putaran antara turbin angin Savonius berpengganggu dan tanpa silinder pengganggu (n/n_0) sebagai fungsi jarak pada $S/D = 1,5 - 2,4$



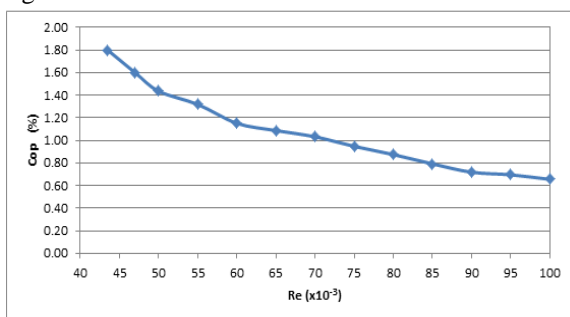
Gambar 16. Grafik perbandingan torsi statis antara turbin angin Savonius berpengganggu dan tanpa silinder pengganggu (T/T_0) sebagai fungsi jarak pada $S/D = 1,5 - 2,4$



Gambar 17. Grafik perbandingan *coefficient of power* antara turbin angin Savonius berpengganggu dan tanpa silinder pengganggu (CoP/CoP_0) sebagai fungsi jarak pada $S/D = 1,5 - 2,4$

Gambar 15, 16 dan 17 memperlihatkan bahwa dari ketiga bilangan Reynolds yang digunakan pada penelitian ini, menunjukkan bahwa perbandingan putaran, torsi statis dan *coefficient of power* memiliki nilai lebih besar dari satu. Hal ini menjelaskan bahwa dengan diletakkannya silinder pengganggu di depan *returning blade*, terbukti efektif meningkatkan performa turbin angin.

Grafik diatas menunjukkan bahwa nilai puncak (*peak value*) putaran, torsi statis dan *coefficient of power* dari turbin angin Savonius berpengganggu berada pada jarak $S/D = 1,7$. Ini menunjukkan bahwa pada posisi pengganggu dengan $S/D = 1,7$ di depan *returning blade* memberikan kinerja yang optimal pada turbin Savonius yang diteliti.



Gambar 18. Grafik *Coefficient of Power* turbin angin Savonius berpengganggu (CoP) pada jarak $S/D = 1,7$ sebagai fungsi bilangan Reynolds

Gambar 18 memperlihatkan bahwa seiring dengan meningkatnya bilangan Reynolds, maka *Coefficient of Power* dari turbin angin Savonius berpengganggu semakin rendah. Hal ini dikarenakan kenaikan kecepatan yang besar tidak diiringi dengan kenaikan daya yang cukup besar pula.

IV. PENUTUP

A. Kesimpulan

Pada penelitian ini, penempatan silinder pengganggu dengan ukuran $d/D = 0,75$ di depan *returning blade* Turbin Savonius pada variasi $S/D = 1,5 - 2,4$ untuk variasi $Re = 6,0 \times 10^4$; $7,5 \times 10^4$ dan $9,0 \times 10^4$ diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Penggunaan silinder pengganggu sirkular yang diletakkan di depan *returning blade* turbin angin tipe Savonius efektif dalam meningkatkan performa turbin angin.
2. Variasi jarak S/D yang diteliti berpengaruh terhadap performa turbin angin tipe Savonius.
3. Pada $Re = 6,0 \times 10^4$ kenaikan maksimal dari putaran sebesar 93% ; $Re = 7,5 \times 10^4$ kenaikan maksimal dari putaran sebesar 96% dan pada $Re = 9,0 \times 10^4$ kenaikan maksimal dari putaran sebesar 101% .
4. Pada $Re = 6,0 \times 10^4$ kenaikan maksimal dari torsi statis sebesar 56% ; $Re = 7,5 \times 10^4$ kenaikan maksimal dari torsi statis sebesar 67% dan pada $Re = 9,0 \times 10^4$ kenaikan maksimal dari torsi statis sebesar 80% .
5. Pada $Re = 6,0 \times 10^4$ kenaikan maksimal dari *Coefficient of Power* sebesar 821% ; $Re = 7,5 \times 10^4$ kenaikan maksimal dari *Coefficient of Power* sebesar 225% dan pada $Re = 9,0 \times 10^4$ kenaikan maksimal dari *Coefficient of Power* sebesar 142% .
6. Untuk semua bilangan Reynolds yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan jarak pusat *returning blade* turbin angin dengan pusat silinder pengganggu yang paling efektif adalah sebesar $S/D = 1,7$ ditandai dengan nilai puncak (*peak value*) dari putaran, torsi statis dan *Coefficient of Power* turbin angin Savonius berpengganggu berada pada jarak S/D tersebut.

B. Saran

Ukuran turbin angin Savonius terlalu besar apabila dibandingkan dengan rongga *wind tunnel*, sehingga efek *blockage* besar dan disarankan perlu dilakukan penelitian dengan *wind tunnel* yang lebih besar atau dilakukan di ruang terbuka (udara bebas).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterimakasih kepada Allah SWT dan Rasul-Nya, kedua orang tua, dosen pembimbing Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA dan seluruh pihak yang telah memberi bantuan dan dukungan kepada penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tsutsui, T dan Igarashi, T. 2002. Drag Reduction on Circular Cylinder in an Air-Stream, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamic*, Vol 90, Page Paper 527-541.
- [2] Deda Altan Burcin, Atilgan Mehmet, dan Ozdamar Aydogan. 2008. An Experimental Study on Improvement of a Savonius Rotor Performance with Curtaining, *Journal Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol 32, Page Paper 1673-1678
- [3] Mohamed MH, Janiga G, Pap E, dan Thevenin D. 2010. Optimization of Savonius Turbines Using an Obstacle Shielding the Returning Blade, *Journal Renewable Energy*, Vol 35, Page Paper 2618-2626