

Analisa Pengaruh Sudut Stagger Di Depan *Advancing Blade* Terhadap Performa Turbin Air Savonius *Myring Blade* $n=1$ & $n=2$

Alfin Ardianto^{1*}, Priyo Agus Setiawan², Nopem Ariwiyono³

Program Studi D4 Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*}

Program Studi D4 Teknik Perpipaian, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia²

Program Studi D4 Teknik Perpipaian, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia³

Email: alfinardianto@student.ppns.ac.id^{1*}; privo.as@ppns.ac.id²; nopem@ppns.ac.id³

Abstract - Savonius water turbines can work at low fluid flow rates and have high torque, but have disadvantages which is the lowest C_p value compared to other turbine types. Efficiency can be improved by changing the shape of the Savonius Turbine blade using the myring equation and adding an obstacle. The experimental method in this study combines two blades resulting from variations of the value (n) in the myring equation $n = 1$ and $n = 2$, with myring $n = 1$ placed on the concave side and $n = 2$ on the convex side. To improve performance, a 12 cm diameter circular cylinder is placed in front of the advancing blade with varying stagger angles. The test model has a height of 0.40 m and a diameter of 0.40 m which will be tested in a flowing tank with a width of 1 m and height of 1 m. Experiments were carried out at a current speed of 0.2 m/s by measuring the turbine rotation and load to produce a torque coefficient and a power coefficient. The experimental results show that the placement of the circular cylinder with $ds/D = 0.3$, $S/D = 0.75$, and $\gamma = 60^\circ$ obtained the highest performance with an angular velocity of 0.5160 rad/s, Coefficient of torque (C_t) of 0.2936 and Coefficient of power (C_p) of 0.1515. With a percentage increase compared to myring $n = 1$ and $n = 2$ without an obstacle of 10.27%, this proves that the addition of a circular cylinder can improve the performance of Savonius water turbines.

Keywords: *Coefficient of power (C_p), Coefficient of torque (C_t), Myring Equation, Stagger Angle, Savonius Water Turbine.*

Nomenclature

N	Kecepatan Rotasi
γ	Sudut <i>Stagger</i>
ds	Diameter Silinder Sirkular
ω	Kecepatan Sudut
U	Kecepatan Aliran Fluida
D	Diameter Rotor Turbin
H	Tinggi Rotor Turbin
ρ	Massa Jenis
C_t	Koefisien Torsi
C_p	Koefisien Daya
TSR	<i>Tip Speed Ratio</i>
T	Torsi
M	Massa Beban Pemberat
S	<i>Spring Balance Load</i>
dr	Diameter Nylon
rShaft	Jari-Jari <i>Pulley</i>

ketersediaan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui semakin menipis. Energi listrik di Indonesia yang dihasilkan rata-rata masih menggunakan generator dengan sumber bahan bakar energi fosil berupa batubara, minyak bumi dan gas alam. Sebagaimana yang diketahui bahwa persediaan energi fosil sangat terbatas, apabila digunakan terus menerus maka suatu saat akan habis. Penggunaan energi fosil juga berdampak pada pemanasan global yang mengakibatkan kerusakan ekologi dan berefek pada peningkatan kadar emisi gas buang (CO_2) di udara. Sehingga dunia dan Indonesia secara khusus dituntut untuk menggunakan energi yang bersifat dapat diperbaharui serta ramah lingkungan. Sumber energi terbarukan seperti energi potensial pada air dapat dimanfaatkan. dengan suatu alat yaitu salah satunya adalah turbin air yang mampu mengubah energi potensial dan kinetik menjadi energi mekanik.

Sigurd Johannes Savonius Insinyur asal Finlandia menemukan Turbin *Savonius* di tahun 1922. Turbin ini memiliki sumbu vertikal yang terdiri dari dua sudu disebut sebagai *advancing blade* dan *returning blade* bertujuan untuk menciptakan torsi positif dan torsi negatif yang berbeda serta gaya hambat pada setiap sudu turbin. Turbin *Savonius* memiliki keuntungan yaitu desain mudah dibuat, biaya pembuatan murah, tidak menimbulkan polusi suara dan dapat menerima energi dari segala arah.

1. Pendahuluan

Peningkatan kebutuhan energi di dunia juga terjadi di Indonesia, misalnya kebutuhan energi listrik. Hal ini terjadi karena jumlah penduduk di Indonesia mengalami peningkatan setiap tahunnya. Kebutuhan akan listrik semakin bertambah seiring berkembangnya teknologi yang berjalan dengan bantuan listrik. Sementara itu,

Namun, Turbin *Savonius* memiliki efisiensi yang rendah jika beroperasi pada putaran yang tinggi. Turbin poros vertikal *Savonius* adalah turbin yang biasanya bekerja dengan fluida angin. Turbin *Savonius* dapat diaplikasikan pada aliran air yang mengalir untuk menghasilkan energi mekanik dari energi kinetik aliran air tersebut.

Berdasarkan hasil penelitian tentang Turbin *Savonius* yang pernah ada, dapat dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan efisiensi dan performa dari Turbin air *Savonius* yang lebih baik. Dengan mengubah bentuk *blade* menggunakan *blade* kombinasi hasil Persamaan *myring* $n=1$ dan $n=2$ serta menambahkan silinder sirkular di depan *advancing blade* dengan variasi sudut *stagger* dan penambahan silinder penghalang diharapkan dapat meningkatkan performa Turbin air *Savonius*.

2. Metodologi

2.1 Studi Literatur

Studi literatur bertujuan untuk menambah pemahaman teori dasar tentang proses kerja Turbin air *Savonius*, pemahaman mengenai pengaruh penambahan silinder sirkular, dan segala sesuatu yang berhubungan dengan tema penelitian. Studi literatur yang digunakan meliputi *textbook*, *handbook*, artikel ilmiah, laporan penelitian sebelumnya, jurnal-jurnal serta konsultasi dengan dosen pembimbing dan buku-buku penunjang lainnya yang relevan.

2.2 Perumusan Masalah

Tahap perumusan masalah merupakan tahap penyampaian gagasan masalah yang akan dibahas. Rumusan masalah ini menjadi aspek penting dalam analisa pada penelitian berdasarkan data yang telah didapat. Dalam penelitian kali ini rumusan masalah yang diambil yaitu bagaimana hasil *Coefficient of torque* (C_t) dan *Coefficient of power* (C_p) Turbin air *savonius* sudu kombinasi *myring* $n=1$ dan $n=2$ saat dipasang pengganggu silinder sirkular di depan *advancing blade*.

2.3 Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan dalam Tugas Akhir ini berupa data primer dan data sekunder. Data yang telah ditentukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Data Turbin dan Silinder Sirkular

Jenis Turbin	<i>Savonius</i>
Tipe <i>blade</i>	<i>Myring</i> $n=1$ & $n=2$
Diameter Rotor	0,4 m
Tinggi Rotor	0,4 m
Diameter Silinder Sirkular	12 cm
Jarak Diameter dan Silinder	30 cm
Variasi Sudut <i>Stagger</i>	0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°

Pengujian dilakukan di kanal pengujian dengan Panjang : 2 m, Lebar : 1 m, Tinggi : 1 m dengan kecepatan aliran (U) konstan yaitu 0.2 m/s. Data yang diambil saat pengujian yaitu: RPM, Beban, dan *Spring Balance Load*.

2.4 Pengujian Turbin Air *Savonius* dan Pengambilan Data

Tahapan ini bertujuan untuk mendapatkan data yang akurat dan dapat diolah agar didapatkan hasil yang sesuai dugaan awal bahwasanya terdapat peningkatan performa Turbin *Savonius* dengan ditambahkan penghalang silinder sirkular yang diletakkan di depan *advancing blade* dengan variasi sudut *stagger*.



Gambar 2.1 Set Up Turbin saat Pengujian

Contoh hasil pengambilan data saat pengujian dapat dilihat di tabel 2.2

Tabel 2.2 Data Pengujian

Variasi ds 12 cm, $\gamma = 60^\circ$		
N (RPM)	M (kg)	S (kg)
7,84	0.2	0.1
7,58	0.4	0.21
7,28	0.6	0.31
6,95	0.8	0.4
6,59	1	0.49
6,21	1.2	0.59
5,85	1.4	0.7
5,49	1.6	0.81
4,93	1.8	0.89
4,43	2	0.99

2.5 Perhitungan Performa Turbin Air *Savonius*

Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui Performa dari Turbin *Savonius* pada tiap variasi percobaan yang dilakukan. Rumus perhitungan yang akan digunakan yaitu:

$$TSR = \frac{\omega \cdot D}{2 \cdot U}$$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot N}{60}$$

$$T = \frac{(M - S)(r_{\text{shaft} + d_r})g}{1000}$$

$$C_t = \frac{T}{\frac{1}{4} \cdot \rho A s D U^2}$$

$$C_p = TSr \cdot C_t$$

2.6 Analisa Data dan Pembahasan

Data yang didapatkan dari hasil percobaan akan dihitung dan dianalisa. Pembahasan juga dilakukan pada tahap ini untuk mengetahui pengaruh dilakukannya modifikasi sudu turbin dan juga penambahan silinder penghalang terhadap peningkatan performa dari Turbin air *Savonius*. Data yang didapatkan dengan melakukan pengujian pada kanal uji akan menjadi acuan dalam pembahasan ini.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian Turbin Air Savonius Myring n=1 & n=2

1. Turbin Air Savonius Tanpa Penghalang

Tabel 3.1 Data Pengujian Tanpa penghalang

Tanpa Penghalang					
N (rpm)	TSR	F1 (kg)	F2 (kg)	CT	CP
7.52	0.7871	0.2	0.11	0.02872	0.02261
7.26	0.7599	0.4	0.21	0.06064	0.04608
6.95	0.7274	0.6	0.30	0.09574	0.06965
6.58	0.6887	0.8	0.39	0.13085	0.09012
6.29	0.6584	1	0.51	0.15638	0.10295
5.85	0.6123	1.2	0.59	0.19468	0.11920
5.49	0.5746	1.4	0.70	0.22340	0.12837
5.12	0.5359	1.6	0.81	0.25212	0.13511
4.52	0.4731	1.8	0.89	0.29042	0.13740
3.96	0.4145	2	1.01	0.31531	0.13069

2. Turbin Air Savonius dengan diameter Silinder 12 dan Sudut Stagger 0°

Tabel 3.2 Data Pengujian Sudut Stagger 0°

Variasi ds 12 cm, γ : 0°					
N (rpm)	TSR	F1 (kg)	F2 (kg)	CT	CP
7.37	0.7714	0.2	0.1	0.03191	0.02462
7.09	0.7421	0.4	0.21	0.06064	0.04500
6.72	0.7034	0.6	0.29	0.09893	0.06959
6.37	0.6667	0.8	0.39	0.13085	0.08724
6.08	0.6364	1	0.51	0.15638	0.09952
5.64	0.5903	1.2	0.6	0.19149	0.11304
5.28	0.5526	1.4	0.71	0.22021	0.12170
4.79	0.5014	1.6	0.79	0.25851	0.12960
4.31	0.4511	1.8	0.89	0.29042	0.13101
3.92	0.4103	2	1.02	0.31244	0.12819

3. Turbin Air Savonius dengan diameter Silinder 12 dan Sudut Stagger 15°

Tabel 3.3 Data Pengujian Sudut Stagger 15°

Variasi ds 12 cm, γ : 15°					
N (rpm)	TSR	F1 (kg)	F2 (kg)	CT	CP
6.13	0.642	0.2	0.1	0.03191	0.02048
5.84	0.611	0.4	0.21	0.06064	0.03706
5.49	0.575	0.6	0.3	0.09574	0.05502
5.21	0.545	0.8	0.41	0.12447	0.06787
4.81	0.503	1	0.49	0.16276	0.08194
4.51	0.472	1.2	0.6	0.19149	0.09039
4.23	0.443	1.4	0.71	0.22021	0.0975
3.87	0.405	1.6	0.8	0.25532	0.10342
3.49	0.365	1.8	0.89	0.29042	0.10609
3.18	0.333	2	1.01	0.31595	0.10516

4. Turbin Air Savonius dengan diameter Silinder 12 dan Sudut Stagger 30°

Tabel 3.4 Data Pengujian Sudut Stagger 30°

Variasi ds 12 cm, γ : 30°					
N (rpm)	TSR	F1 (kg)	F2 (kg)	CT	CP
6.71	0.7023	0.2	0.1	0.03191	0.02241
6.48	0.6782	0.4	0.21	0.06064	0.04113
6.18	0.6468	0.6	0.3	0.09574	0.06193
5.87	0.6144	0.8	0.39	0.13085	0.08039
5.65	0.5914	1	0.51	0.15638	0.09248
5.28	0.5526	1.2	0.6	0.19149	0.10582
4.97	0.5202	1.4	0.71	0.22021	0.11455
4.54	0.4752	1.6	0.79	0.25851	0.12284
4.15	0.4344	1.8	0.89	0.29042	0.12615
3.77	0.3946	2	1.02	0.31276	0.12341

5. Turbin Air Savonius dengan diameter Silinder 12 dan Sudut Stagger 45°

Tabel 3.5 Data Pengujian Sudut Stagger 45°

Variasi ds 12 cm, γ : 45°					
N (rpm)	TSR	F1 (kg)	F2 (kg)	CT	CP
6.89	0.721	0.2	0.1	0.03191	0.02302
6.57	0.688	0.4	0.19	0.06702	0.04609
6.29	0.658	0.6	0.3	0.09574	0.06303
5.95	0.623	0.8	0.39	0.13085	0.08149
5.71	0.598	1	0.51	0.15638	0.09346
5.39	0.564	1.2	0.6	0.19149	0.10803
5.08	0.532	1.4	0.71	0.22021	0.11709
4.68	0.49	1.61	0.8	0.25851	0.12663
4.28	0.448	1.8	0.89	0.29042	0.1301
3.93	0.411	2	1.03	0.30957	0.12734

6. Turbin Air Savonius dengan diameter Silinder 12 dan Sudut Stagger 60°

Tabel 3.6 Data Pengujian Sudut Stagger 60°

Variasi ds 12 cm, γ : 60°					
N (rpm)	TSR	F1 (kg)	F2 (kg)	CT	CP
7.84	0.8206	0.2	0.1	0.03191	0.02619
7.58	0.7934	0.4	0.21	0.06064	0.04811
7.28	0.762	0.6	0.31	0.09255	0.07052
6.95	0.7274	0.8	0.4	0.12766	0.09286
6.59	0.6898	1	0.49	0.16276	0.11227
6.21	0.6500	1.2	0.59	0.19468	0.12654
5.85	0.6123	1.4	0.7	0.2234	0.13679
5.49	0.5746	1.6	0.81	0.25212	0.14488
4.93	0.516	1.8	0.88	0.29361	0.15151
4.43	0.4637	2	0.99	0.32234	0.14946

7. Turbin Air Savonius dengan diameter Silinder 12 dan Sudut Stagger 75°

Tabel 3.7 Data Pengujian Sudut Stagger 75°

Variasi ds 12 cm, γ : 75°					
N (rpm)	TSR	F1 (kg)	F2 (kg)	CT	CP
5.84	0.611	0.2	0.09	0.03511	0.02146
5.59	0.585	0.4	0.19	0.06702	0.03921
5.38	0.563	0.6	0.3	0.09574	0.05391
5.12	0.536	0.8	0.39	0.13085	0.07012
4.93	0.516	1	0.51	0.15638	0.08069
4.68	0.49	1.2	0.61	0.1883	0.09223
4.41	0.462	1.4	0.7	0.2234	0.10312
4.12	0.431	1.6	0.79	0.25851	0.11148
3.74	0.391	1.8	0.88	0.29361	0.11494
3.45	0.361	2	1.02	0.31276	0.11294

8. Turbin Air Savonius dengan diameter Silinder 12 dan Sudut Stagger 90°

Tabel 3.8 Data Pengujian Sudut Stagger 90°

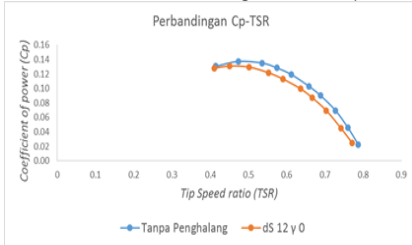
Variasi ds 12 cm, γ : 90°					
N (rpm)	TSR	F1 (kg)	F2 (kg)	CT	CP
6.28	0.6573	0.2	0.10	0.03191	0.02098
5.97	0.6249	0.4	0.20	0.06064	0.03789
5.64	0.5903	0.6	0.30	0.09574	0.05652
5.36	0.561	0.8	0.40	0.12447	0.06983
4.98	0.5212	1	0.50	0.15957	0.08318
4.61	0.4825	1.2	0.60	0.19468	0.09393
4.24	0.4438	1.4	0.70	0.22659	0.10056
3.95	0.4134	1.6	0.80	0.25212	0.10424
3.51	0.3674	1.8	0.90	0.28723	0.10552
3.13	0.3276	2	1.00	0.31787	0.10414

3.2 Perbandingan Hasil Pengujian Turbin air Savonius Myring n=1 & n=2 Berpenghalang dan Tanpa Penghalang Silinder Sirkular

1. Turbin Savonius dengan diameter silinder 12 cm dan sudut stagger 0°

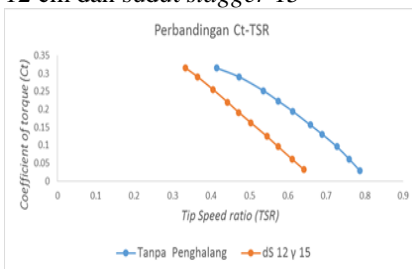


Gambar 3.1 Perbandingan Ct-TSR, $\gamma = 0^\circ$

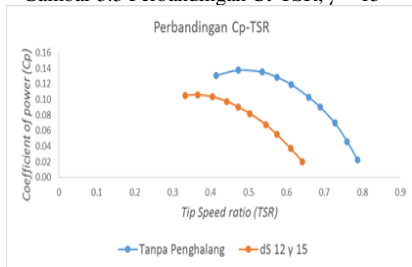


Gambar 3.2 Perbandingan Cp-TSR, $\gamma = 0^\circ$

2. Turbin *Savonius* dengan diameter silinder 12 cm dan sudut *stagger* 15°

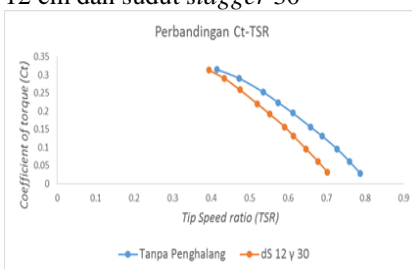


Gambar 3.3 Perbandingan Ct-TSR, $\gamma = 15^\circ$



Gambar 3.4 Perbandingan Cp-TSR, $\gamma = 15^\circ$

3. Turbin *Savonius* dengan diameter silinder 12 cm dan sudut *stagger* 30°

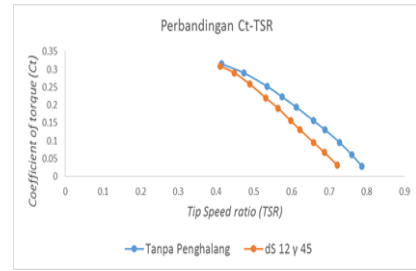


Gambar 3.5 Perbandingan Ct-TSR, $\gamma = 30^\circ$

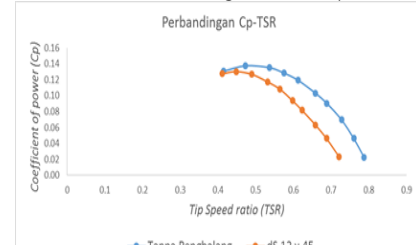


Gambar 3.6 Perbandingan Cp-TSR, $\gamma = 30^\circ$

4. Turbin *Savonius* dengan diameter silinder 12 cm dan sudut *stagger* 45°

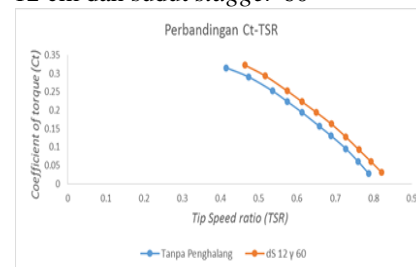


Gambar 3.7 Perbandingan Ct-TSR, $\gamma = 45^\circ$

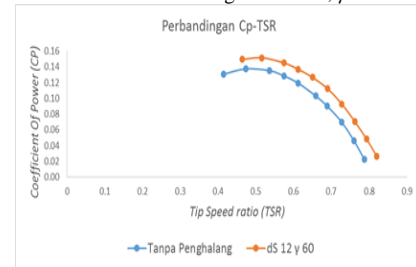


Gambar 3.8 Perbandingan Cp-TSR, $\gamma = 45^\circ$

5. Turbin *Savonius* dengan diameter silinder 12 cm dan sudut *stagger* 60°

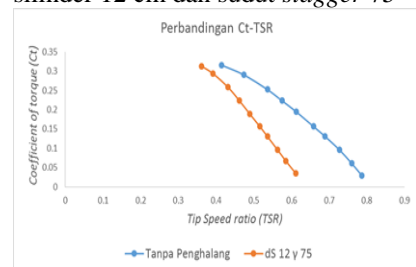


Gambar 3.9 Perbandingan Ct-TSR, $\gamma = 60^\circ$

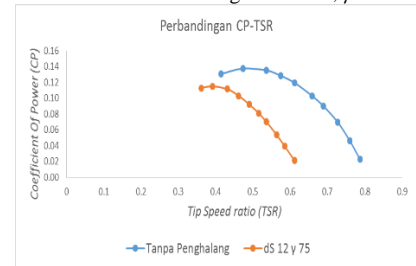


Gambar 3.10 Perbandingan Cp-TSR, $\gamma = 60^\circ$

6. Turbin *Savonius* dengan diameter silinder 12 cm dan sudut *stagger* 75°

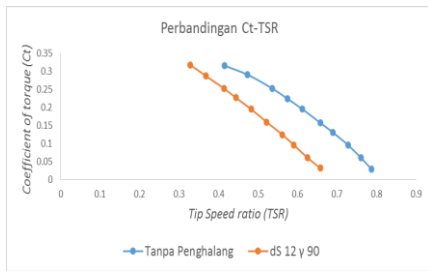


Gambar 3.11 Perbandingan Ct-TSR, $\gamma = 75^\circ$



Gambar 3.12 Perbandingan Cp-TSR, $\gamma = 75^\circ$

7. Turbin *Savonius* dengan diameter silinder 12 cm dan sudut *stagger* 90°



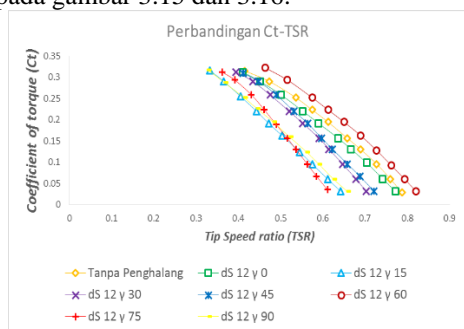
Gambar 3.13 Perbandingan Ct-TSR, $\gamma = 90^\circ$



Gambar 3.14 Perbandingan Cp-TSR, $\gamma = 90^\circ$

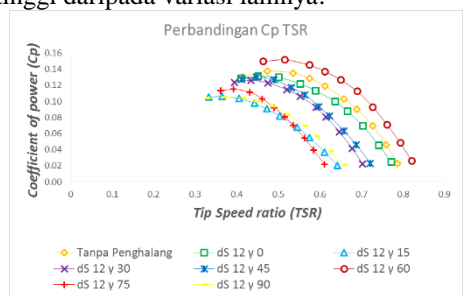
3.3 Peningkatan Performa Turbin air Savonius Myring n=1 & n=2 dengan Penghalang dibanding Tanpa Penghalang

Data pengujian Turbin air Savonius myring n=1 dan n=2 dibandingkan dengan Turbin air Savonius myring n=1 dan n=2 tanpa penghalang silinder sirkular akan ditampilkan dalam bentuk grafik untuk masing-masing variasi secara keseluruhan pada gambar 3.15 dan 3.16.



Gambar 3.15 Perbandingan Ct-TSR Seluruh Variasi

Gambar 3.15 menunjukkan bahwa semakin kecil Tip Speed Ratio (TSR), maka Coefficient of torque (Ct) semakin meningkat. Dapat dilihat grafik dengan variasi ds 12, $\gamma 60^\circ$ Ct yang diperoleh paling tinggi daripada variasi lainnya.



Gambar 3.16 Perbandingan Cp-TSR Seluruh Variasi

Gambar 3.16 menunjukkan semakin kecil nilai Tip Speed Ratio (TSR) maka Coefficient of power (Cp) semakin meningkat. Dapat dilihat grafik dengan variasi ds 12, $\gamma 60^\circ$ Cp yang diperoleh paling tinggi daripada variasi

lainnya. Tapi pada saat nilai Tip Speed Ratio (TSR) tertentu nilai Coefficient of power (Cp) akan menurun dikarenakan sudah mencapai puncaknya dan putaran turbin mendekati berhenti akibat pembebanan poros turbin. Untuk besar persentase peningkatan pada Turbin air Savonius Myring n=1 dan n=2 beserta dengan nilai Cp Tertinggi pada tiap variasi pengujian akan ditampilkan dalam tabel 3.17 dibawah.

Tabel 3.9 Persentase Peningkatan Performa Turbin

Type Variasi	Cp Max	TSR	Peningkatan Performa (%)
Tanpa Penghalang	0.1374	0.4731	-
ds 12 $\gamma 0^\circ$	0.1310	0.4511	-4.65 %
ds 12 $\gamma 15^\circ$	0.1061	0.3653	-22.79 %
ds 12 $\gamma 30^\circ$	0.1261	0.4344	-8.19 %
ds 12 $\gamma 45^\circ$	0.1301	0.4480	-5.31 %
ds 12 $\gamma 60^\circ$	0.1515	0.5160	10.27 %
ds 12 $\gamma 75^\circ$	0.1149	0.3915	-16.35 %
ds 12 $\gamma 90^\circ$	0.1055	0.3674	-23.20 %

Berdasarkan tabel maupun grafik diatas, peningkatan performa pada variasi pengujian hanya terjadi pada pengujian dengan ds 12, $\gamma 60^\circ$ saja. Dengan Cp maksimum yang bisa didapat sebesar 0.1515 pada TSR 0.5160. Pada pengujian ini didapatkan hasil bahwa pemasangan silinder penghalang diameter 12 cm dengan posisi sudut stagger 60° dan jarak S/D 0.75 atau 30 cm merupakan yang terbaik dari variasi lain.

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan penelitian Turbin air Savonius myring blade n=1 dan n=2 yang diuji di kanal pengujian dengan penambahan silinder sirkular sebagai penghalang aliran air dan variasi perubahan sudut stagger silinder penghalang ternyata berpengaruh terhadap peningkatan performa dari Turbin air Savonius. Hasil pengujian 8 variasi sudut stagger didapatkan Cp tertinggi pada sudut stagger 60° , diameter silinder 12 cm sebesar 0.1515 dan Ct tertinggi juga pada sudut stagger 60° , diameter silinder 12 cm sebesar 0.3233.

Pada penelitian kali ini tidak lepas dari kekurangan yang dapat diperbaiki untuk penelitian kedepannya. Apabila dilakukan penelitian selanjutnya dapat menganalisa apakah ada pengaruh aliran balik yang terjadi akibat aliran menabrak dinding kanal dan mungkin mempengaruhi putaran turbin saat pengujian. Pada penelitian selanjutnya dapat ditambah variasi diameter silinder yang berbeda-beda dan dilakukan penempatan silinder penghalang didepan returning blade.

5. Ucapan Terima Kasih

[1] Orang tua dan keluarga yang selalu memberi dukungan moril dan materil yang besar demi suksesnya Tugas Akhir ini

- [2] Bapak Priyo Agus Setiawan, ST., MT. Selaku dosen pembimbing 1
- [3] Bapak Nopem Ariwinyono, ST., MT. Selaku dosen pembimbing 2
- [4] Teman-teman kelas D4-ME8A yang banyak memberikan dukungan dan saran dalam penyusunan penelitian ini
- [5] Teman-teman kelompok pengujian yang sudah banyak membantu saat perancangan eksperimen serta pengambilan data

6. Daftar Pustaka

- [1] Daniel Fernando. (2017). *Experimental Studies On The Effect Of Circular Cylinder As Flow Disturbance Next To Returning Blade Against The Performance Of Wind Turbine Type Savonius*.
- [2] Sanusi, A., Soeparman, S., Wahyudi, S., & Yuliati, L. (2016). *Experimental Study of Combined Blade Savonius Wind Turbine*.
- [3] Setiawan, P. A., Yuwono, T., Widodo, W. A., Julianto, E., & Santoso, M. (2019). *Numerical Study of a Circular Cylinder Effect on the Vertical Axis Savonius Water Turbine Performance at the Side of the Advancing Blade with Horizontal Distance Variations*.
- [4] Setiawan, P. A., Yuwono, T., & Widodo, W. A. (2019). *Effect of a Circular Cylinder in Front of Advancing Blade on the Savonius Water Turbine by Using Transient Simulation*.
- [5] Tian, W., Song, B., Vanzwieten, J. H., & Pyakurel, P. (2015). *Computational Fluid Dynamics Prediction of a Modified Savonius Wind Turbine with Novel Blade Shapes*.
- [6] Kailash, G., Eldho, T. I., & Prabhu, S. V. (2012). *Performance Study of Modified Savonius Water Turbine with Two Deflector Plates*.
- [7] Talukdar, P. K., Sardar, A., Kulkarni, V., & Saha, U. K. (2018). *Parametric analysis of model Savonius hydrokinetic turbines through experimental and computational investigations*.
- [8] Yuwono, T. (2016). *Studi Eksperimen Pengaruh Silinder Pengganggu Di Depan Returning Blade Turbin*.
- [9] Patel, C. R., Patel, V. K., Prabhu, S. V, & Eldho, T. I. (2013). *Investigation of Overlap Ratio for Savonius Type Vertical Axis Hydro Turbine*.
- [10] P A Setiawan, T. Y. and W. A. W. (2019). *Numerical Study of the Stagger Angle Effect of a Circular Cylinder Installed in Front of Returning Blade Toward the Vertical Axis Savonius Water Turbine Performance*.
- [11] P A Setiawan, T. Y. and W. A. W. (2018). *Numerical simulation on improvement of a Savonius vertical axis water turbine performance to advancing blade side with a circular cylinder diameter variations*.