

Kajian Ekperimen Pengaruh Pemasangan Silinder Sirkular Bervariasi Diameter dengan Posisi $X/D = 0.5$ dan $Y/D = 0.7$ pada Sisi *Advancing Blade* Terhadap Performa Turbin Air Savonius

Difa Falahudin^{1*}, Priyo Agus Setiawan², dan Arie Indartono³

¹Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

² Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

³ Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

*E-mail: difafalahudin@student.ppns.ac.id

Abstract- Savonius water turbine has the opportunity to be developed. An innovation is needed to improve the performance of savonius water turbines. An experimental study on the effect of installing a circular cylinder with varying diameters on the advancing blade side of the savonius water turbine performance needs to be carried out. The experiment used savonius water turbine myring $n = 1$ and myring $n = 2$ with a diameter and rotor height of 40 cm each. Circular cylinder diameter variations used are $ds/D=0.2$, $ds/D=0.3$, and $ds/D=0.4$. Circular cylinder is positioned at a distance of $X/D=0.5$ and $Y/D=0.7$. The result is the coefficient of torque (C_t) and the coefficient of power (C_p). In addition, the diameter of the circular cylinder that is capable of producing the best performance of Savonius water turbines will be obtained. The results of the experiment indicate that the installation of a circular cylinder on the advancing blade can improve the performance of savonius water turbines. Variation in circular cylinder diameter $ds/D=0.4$ results the highest C_t and C_p values in the savonius water turbine myring $n=1$ and myring $n=2$. Myring $n=1$ turbine experiment shows the value of C_t obtained is 0.34 at the tip speed ratio (TSR) of 0.73, while in myring $n=2$ turbine, the value of C_t obtained is 0.34 at TSR 0.49. Myring $n=1$ turbine experiment shows a C_p value of 0.25 at TSR 0.73 (showing an increase of 66.67%), whereas in myring $n=2$ turbine, the C_p value obtained is 0.16 at TSR 0.49 (showing an increase of 21.43%).

Keywords : advancing blade, circular cylinder, coefficient of torque, coefficient of power, savonius water turbine.

Nomenclature

| | | | |
|----------|----------------------------------|----------|--|
| C_p | Coefficient of power | θ | Derajat waktu langkah putaran [Rad] |
| C_t | Coefficient of torque | N | Jumlah putaran |
| ω | Kecepatan sudut [Rad/s] | TSR | Tip speed ratio |
| D | Diameter turbin [m] | U | Kecepatan aliran fluida [m/s] |
| ds | Diameter silinder sirkular [m] | H | Tinggi turbin [m] |
| ρ | massa jenis [Kg/m ³] | μ | Viskositas dinamis fluida [Ns/m ²] |

1. PENDAHULUAN

Beberapa penelitian telah dilakukan yang bertujuan untuk meningkatkan performa ataupun kinerja turbin air tipe savonius. (Kailash et al., 2012) melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan pelat deflektor di depan *returning blade* terhadap performansi turbin air tipe Savonius. Pada penelitian digunakan turbin air Savonius konvensional dengan variasi jarak dan sudut dari pelat penghalang dan pelat pengarah. Turbin air ditambahkan dengan sebuah dua plat penghalang dengan dua variasi jarak masing-masing $Z = R$ dan $Z = 1.8R$ serta variasi sudut dari sumbu horizontal (α). Hasil percobaan menunjukkan bahwa penambahan pelat deflektor pada turbin air savonius mampu meningkatkan *coefficient of power* (C_p) dibandingkan tanpa penambahan pelat deflektor. Posisi jarak dan sudut pelat deflektor paling optimal pada $Z = 1.8R$ dan $\alpha = 50^\circ$, yakni menghasilkan CP_{max} sebesar 0,35 sedangkan CP_{max} yang dihasilkan turbin air savonius tanpa pelat deflektor sebesar 0,14.

Pada penelitian yang dilakukan (Tian et al., 2015) pada turbin angin savonius yang dimodifikasi dengan *Novel Blade Shapes* menggunakan *software* CFD dan melakukan variasi pada desain blade yang tujuannya untuk meningkatkan koefisien turbin, desain blade turbin angina tipe Savonius yang telah dilakukan variasi didasarkan pada persamaan *Myring*. CFD (*Computational Fluid Dynamics*) digunakan untuk mensimulasikan desain blade dan pengukuran kinerja aerodinamis rotor dan varian desain blade. Hasil simulasi menunjukan bahwa rotor dengan blade $n = 1$ memiliki koefisien daya tertinggi 0,2573. Hasil koefisien daya ini menunjukkan 10,98% lebih tinggi dari turbin Savonius konvensional. Selama periode rotasi, *blade* dengan nilai n yang lebih kecil menghasilkan torsi positif yang lebih tinggi.

Pada penelitian lebih lanjut dengan menggunakan simulasi *softwar*, (Setiawan et al., 2018) melakukan simulasi *computational fluid dynamics* (CFD) optimasi turbin air tipe savonius dengan menambahkan *shielding obstacle* berupa silinder sirkular pada sisi *advancing blade* dengan *software ANSYS 17.0-Fluent*. Variasi dilakukan terhadap diameter silinder yang ditambahkan pada turbin air tipe Savonius. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan *shielding obstacle* mampu meningkatkan *torque coefficient* (C_t) dan *power coefficient* (C_p) pada hampir semua konfigurasi variasi. Peningkatan *power coefficient* (C_p) maksimum sebesar 18,04% didapat pada variasi $ds/D = 0,7$.

Dari hasil berbagai penelitian di atas dirasa masih perlu dilakukan penelitian untuk mendapatkan efisiensi dan performansi dari turbin air savonius yang lebih baik. Ditinjau dari

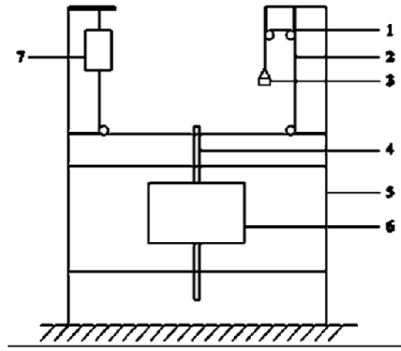
penelitian (Setiawan et al., 2018) yang melakukan simulasi numerik terhadap penambahan silinder sirkular pengganggu pada sisi *advancing blade* dengan variasi diameter silinder sirkular, penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan silinder sirkular penghalang/*shielding obstacle* terpasang pada sisi *advancing blade* mampu meningkatkan *torque coefficient* (C_t) dan *power coefficient* (C_p) pada hampir semua konfigurasi variasi diameter silinder sirkular. Maka dari itu perlu adanya kajian eksperimen mengenai variasi diameter silinder sirkular yang paling tepat, guna meningkatkan performa turbin air savonius. Pada penelitian ini akan dilakukan kajian eksperimen pengaruh pemasangan silinder sirkular penghalang aliran air di samping *advancing blade* terhadap performa turbin air savonius dengan variasi diameter silinder sirkular. Maka dari itu perlu dilakukan suatu kajian eksperimen mengenai variasi diameter silinder sirkular yang paling tepat, guna meningkatkan performa turbin air savonius. Pada tugas akhir ini akan dilakukan kajian eksperimen pengaruh pemasangan silinder sirkular sebagai pengganggu aliran air pada sisi *advancing blade* terhadap performa turbin air savonius dengan variasi diameter silinder sirkular. Eksperimen dilakukan menggunakan turbin air savonius *myring* $n=1$ dan *myring* $n=2$ dengan diameter dan tinggi rotor masing-masing 40 cm. Variasi diameter silinder sirkular yang digunakan adalah 8 cm ($ds/D=0.2$), 12 cm ($ds/D=0.3$), dan 16 cm ($ds/D=0.4$). Silinder sirkular akan diposisikan pada jarak *centre* silinder sirkular terhadap *centre* turbin air savonius sebesar $Y/D = 0.7$ dan $X/D = 0.5$. Eksperimen dilakukan pada *open water channel* yang dirancang sedemikian rupa untuk mendapatkan hasil pengujian yang tepat, akurat, dan efisien.

2. METODOLOGI

Gambaran secara umum eksperimen yang akan dilakukan dalam penelitian ini diilustrasikan pada gambar berikut ini :



(a)



(b)



(a)

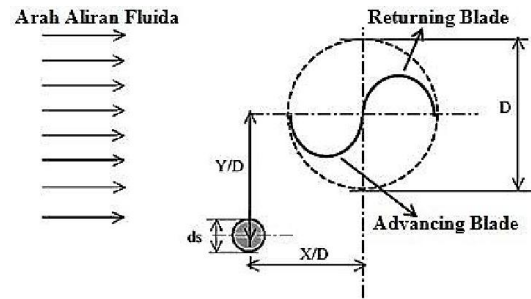
Gambar 2.1. (a) dan (b) *Experimental Setup*

Keterangan :

1. Sistem *pulley*
2. Benang nilon
3. *Weighting Pan*
4. Poros
5. *Support Structure*
6. *Rotor turbin savonius*
7. *Spring balance*

Pengukuran yang dilakukan dengan skema yang terdiri dari sistem *pulley*, massa pemberat dan pegas yang dihubungkan oleh benang nilon dengan yang menyelubungi dari poros turbin air Savonius. Besarnya daya yang terukur sesuai dengan persamaan perhitungan *Coefficient of power*, dimana torsi dinamis yang dihasilkan oleh turbin air Savonius dapat diukur oleh *brake dynamometer*. Torsi dinamis yang dihasilkan oleh turbin air Savonius diukur ketika turbin berputar. Massa pemberat ditambahkan dengan berbagai variasi hingga turbin berhenti berputar. Rotor diberikan beban secara bertahap untuk tujuan pembacaan spring balance, berat, dan kecepatan rotasi rotor. Untuk setiap beban, kecepatan rotasi (N) dihitung 3 kali, dan ini dilakukan untuk tujuan mendapatkan akurasi maksimum yang mungkin dalam hasil. Dalam penelitian ini, sebagai massa pemberat dalam sistem *brake dynamometer* yang digunakan, dipakai berbagai macam benda, antara lain plat aluminium tipis, akrilik, karet, serta baut dan mur. Untuk mengukur besarnya massa pemberat adalah dengan menggunakan timbangan. Dalam eksperimen ini, sebagai massa pemberat dalam sistem *brake dynamometer* yang digunakan, dipakai berbagai macam benda, antara lain plat aluminium tipis, akrilik, karet, serta baut dan mur. Untuk mengukur besarnya massa pemberat adalah dengan menggunakan timbangan.

Pada penelitian ini, ilustrasi *setting* benda uji berupa rotor savonius dan silinder sirkular direpresentasikan pada gambar 2.2 sebagai berikut ini :



(b)

Gambar 2.2. (a) dan (b) kema diagram posisi silinder sirkular terhadap rotor savonius

Keterangan :

- d_s : diameter silinder
 D : diameter rotor savonius
 X/D : jarak horizontal antara titik pusat rotor savonius dan titik pusat silinder sirkular
 Y/D : jarak vertikal antara titik pusat rotor savonius dan titik pusat silinder sirkular

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data awal yang dapat diambil dari pengujian ini diantaranya adalah putaran turbin (RPM), massa pembebanan (kg), massa *spring balance* (kg). Data yang telah didapatkan selanjutnya akan diolah untuk menjawab semua rumusan masalah yang terdiri dari nilai *coefficient of power* (C_p), *coefficient of torque* (C_t), dan ukuran diameter silinder sirkular yang secara optimal menghasilkan performansi terbaik dengan konfigurasi turbin yang menggunakan persamaan *myring* $n=1$ dan *myring* $n=2$. *Tip Speed Ratio* (TSR) adalah rasio kecepatan ujung rotor terhadap kecepatan aliran air

$$TSR = \frac{\omega D}{2 U} \quad (3.1)$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (3.2)$$

Torsi didefinisikan sebagai momen atau momen gaya, yaitu bentuk ekuivalen rotasi dari gaya linear.

$$T = (M - S)(r_{shaft} + d_r) g \quad (3.3)$$

Coefficient of torque (C_t) didefinisikan sebagai rasio antara torsi aktual yang dikembangkan oleh rotor (T) dan torsi teoretis yang tersedia (T_w). Persamaan *Coefficient of torque* adalah sebagai berikut :

$$C_t = \frac{4T}{\rho U^2 H D^2} \quad (3.4)$$

Coefficient of power (C_p) adalah nilai yang menentukan besarnya performa turbin. Nilai *Coefficient of power* berbanding lurus dengan performa turbin. Persamaan *Coefficient of power* adalah sebagai berikut :

$$C_p = \text{TSR} \times C_t \quad (3.5)$$

Hasil perbandingan *coefficient of torque* (C_t) terhadap *tip speed ratio* (TSR) pada turbin air savonius *myring* $n=1$ dan *myring* $n=2$ ditunjukkan pada gambar 3.1. Variasi diameter silinder sirkular 16 cm ($ds/D = 0.4$) menghasilkan nilai *coefficient of torque* (C_t) paling tinggi pada turbin air savonius *myring* $n=1$ dan *myring* $n=2$. Pada pengujian menggunakan turbin savonius *myring* $n=1$, nilai C_t yang diperoleh yaitu 0.34 pada *tip speed ratio* (TSR) 0.73, sedangkan pada pengujian turbin savonius *myring* $n=2$, nilai C_t yang diperoleh yaitu 0.34 pada *tip speed ratio* (TSR) 0.49. Analisa pada grafik dilakukan dengan mengacu nilai dari *coefficient of torque* (C_t) sebagai fungsi dari *tip speed ratio* (TSR). Dari gambar 3.1 dapat diamati *trendline* kurva yang menunjukkan bahwa semakin kecil nilai *tip speed ratio* (TSR), maka *coefficient of torque* (C_t) akan semakin meningkat. Penjelasan dari *trendline* tersebut yaitu pembebanan yang dilakukan terhadap poros turbin sangat berpengaruh terhadap *coefficient of torque* (C_t). Semakin berat beban yang diterima poros maka *coefficient of torque* (C_t) akan semakin besar dan nilai *tip speed ratio* (TSR) akan semakin menurun. Proses pembebanan dilakukan secara bertahap dari pembebanan 0.2 kg hingga 2 kg dengan *increment* pembebanan yaitu 0.2 kg. Pemasangan silinder sirkular pada sisi *advancing blade* menyebabkan peningkatan kecepatan angular pada turbin air savonius sehingga seiring bertambahnya pembebanan secara bertahap maka nilai *tip speed ratio* menurun dan nilai *coefficient of torque* (C_t) meningkat.

Hasil perbandingan *coefficient of power* (C_p) terhadap *tip speed ratio* (TSR) pada turbin air savonius *myring* $n=1$ dan *myring* $n=2$ ditunjukkan pada gambar 3.2. Variasi diameter silinder sirkular 16 cm ($ds/D = 0.4$) menghasilkan nilai *coefficient of*

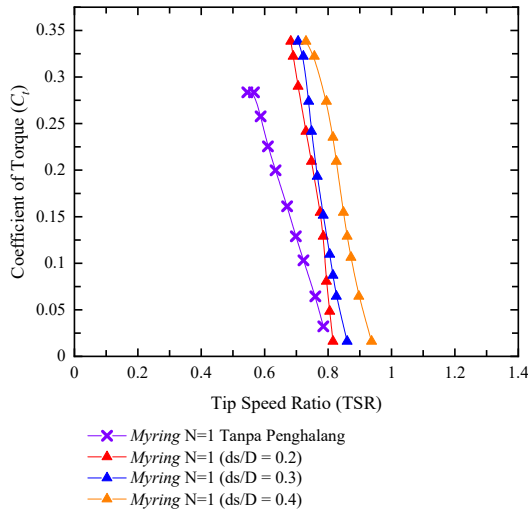
power (C_p) paling tinggi pada turbin air savonius *myring* $n=1$ dan *myring* $n=2$. Pada pengujian menggunakan turbin savonius *myring* $n=1$, nilai C_p yang diperoleh yaitu 0.25 pada *tip speed ratio* (TSR) 0.73, sedangkan pada pengujian turbin savonius *myring* $n=2$, nilai C_p yang diperoleh yaitu 0.17 pada *tip speed ratio* (TSR) 0.49. Dari gambar 3.2 dapat diamati *trendline* kurva yang menunjukkan bahwa semakin kecil nilai *tip speed ratio* (TSR), maka *coefficient of power* (C_p) akan semakin meningkat. Penjelasan dari *trendline* tersebut yaitu pembebanan yang dilakukan terhadap poros turbin sangat berpengaruh terhadap *coefficient of power* (C_p). Semakin berat beban yang diterima poros maka *coefficient of power* (C_p) akan semakin besar dan nilai *tip speed ratio* (TSR) akan semakin menurun. Dalam kondisi tanpa beban, kecepatan rotasi turbin akan maksimal. Ketika beban meningkat, kecepatan rotasi turbin berkurang. Oleh karena itu, *tip speed ratio* menurun. Untuk pembebanan tertentu, turbin tidak dapat berputar karena tidak dapat menghasilkan torsi karena beban yang berlebihan. Inilah alasan yang menyebabkan tidak adanya atau sangat sedikit titik data di bagian kiri dari kurva. Pemasangan silinder sirkular pada sisi *advancing blade* turbin air savonius menyebabkan nilai *coefficient of power* maksimum ($C_{p_{max}}$) yang dapat dicapai cenderung lebih tinggi seiring dengan bertambahnya diameter silinder sirkular yang terpasang, dibandingkan dengan turbin savonius tanpa penghalang.

Tabel 3.1 Perbandingan C_p pada Variasi Silinder Sirkular terhadap Tanpa Silinder Sirkular pada *Myring* $N=1$

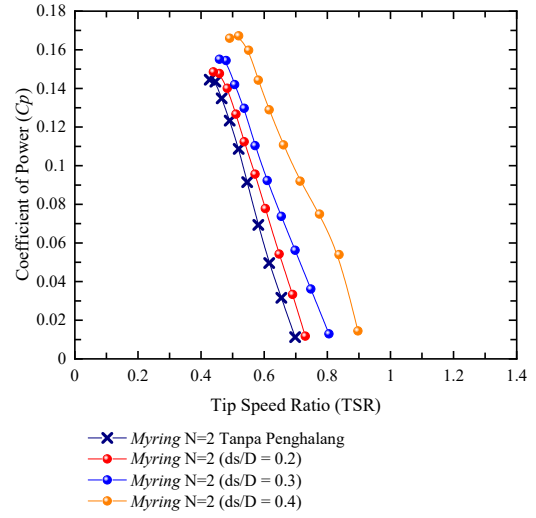
| Turbin Air Savonius <i>Myring</i> $N=1$ | | | | |
|---|------|-------|----------------|------------|
| Variasi | TSR | C_p | Persentase (%) | Keterangan |
| Tanpa Silinder | 0.55 | 0.15 | - | - |
| $ds/D = 0.2$ | 0.68 | 0.19 | 26.67 | Meningkat |
| $ds/D = 0.3$ | 0.71 | 0.23 | 53.3 | Meningkat |
| $ds/D = 0.4$ | 0.73 | 0.25 | 66.67 | Meningkat |

Tabel 3.2 Perbandingan C_p pada Variasi Silinder Sirkular terhadap Tanpa Silinder Sirkular pada *Myring* $N=2$

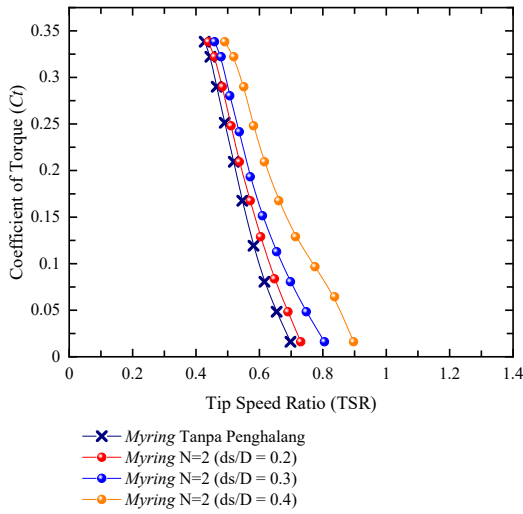
| Turbin Air Savonius <i>Myring</i> $N=2$ | | | | |
|---|------|-------|----------------|------------|
| Variasi | TSR | C_p | Persentase (%) | Keterangan |
| Tanpa Silinder | 0.43 | 0.14 | - | - |
| $ds/D = 0.2$ | 0.44 | 0.15 | 7.14 | Meningkat |
| $ds/D = 0.3$ | 0.46 | 0.16 | 14.29 | Meningkat |
| $ds/D = 0.4$ | 0.49 | 0.17 | 21.43 | Meningkat |



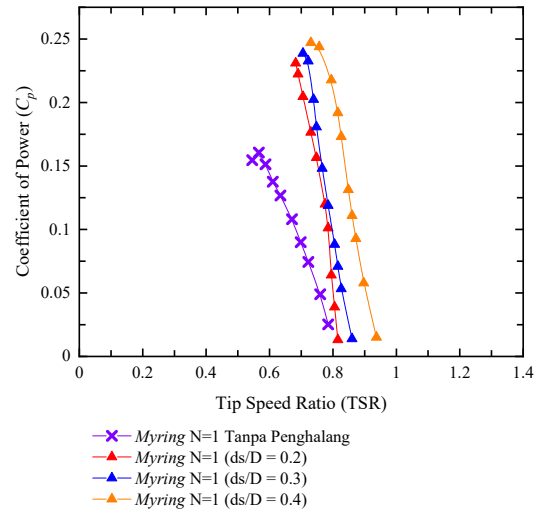
(a)



(a)



(b)



(b)

Gambar 3.1. (a) dan (b) Grafik perbandingan hubungan C_t - TSR turbin air savonius *myring* $n=1$ dan *myring* $n=2$ berpenghalang silinder sirkular dan tanpa silinder sirkular.

Gambar 3.2. (a) dan (b) Grafik perbandingan hubungan C_p - TSR turbin air savonius *myring* $n=1$ dan *myring* $n=2$ berpenghalang silinder sirkular dan tanpa silinder sirkular.

4. KESIMPULAN

Pemasangan silinder sirkular pada sisi *advancing blade* turbin air savonius *myring* $n=1$ dan *myring* $n=2$ efektif dalam meningkatkan performa turbin. Dari tiga variasi diameter silinder sirkular yang telah dilakukan pengujian, nilai performa terbaik diperoleh dengan pemasangan diameter silinder sirkular 16 cm ($ds/D = 0.4$). Variasi diameter silinder sirkular 16 cm ($ds/D = 0.4$) menghasilkan nilai *coefficient of power* (C_p) paling tinggi pada turbin air savonius *myring* $n=1$ dan *myring* $n=2$. Pada pengujian menggunakan turbin savonius *myring* $n=1$, nilai C_p yang diperoleh yaitu 0.25 pada *tip speed ratio* (TSR) 0.73 (peningkatan 66.67% jika dibandingkan dengan turbin *myring* $n=1$ tanpa penghalang), sedangkan pada pengujian turbin savonius *myring* $n=2$ nilai C_p yang diperoleh yaitu 0.16 pada *tip speed ratio* (TSR) 0.49 (peningkatan 21.43% jika dibandingkan dengan turbin *myring* $n=2$ tanpa penghalang). Pemasangan silinder sirkular pada sisi *advancing blade* turbin air savonius menghasilkan nilai *coefficient of power* maksimum ($C_{p_{max}}$) yang dapat dicapai cenderung lebih tinggi seiring dengan bertambahnya diameter silinder sirkular yang terpasang, dibandingkan dengan turbin savonius tanpa penghalang.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Kailash, T. I. Eldho, and S. V. Prabhu. *Performance study of modified savonius water turbine with two deflector plates*. *Int. J. Rotating Mach.*, vol. 2012, 2012.
- [2] W. Tian, B. Song, J. H. Van Zwieten, and P. Pyakurel. *Computational fluid dynamics prediction of a modified savonius wind turbine with novel blade shapes*. *Energies*, vol. 8, no. 8, pp. 7915–7929, 2015.
- [3] P. A. Setiawan, T. Yuwono, and W. A. Widodo. *Numerical simulation on improvement of a Savonius vertical axis water turbine performance to advancing blade side with a circular cylinder diameter variations*. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 200, no. 1, pp. 0–7, 2018.
- [4] P. A. Setiawan, T. Yuwono, and W. A. Widodo. *Effect of a circular cylinder in front of advancing blade on the savonius water turbine by using transient simulation*. *Int. J. Mech. Mechatronics Eng.*, vol. 19, no. 1, pp. 151–159, 2019.
- [5] N. Ariwiyono *et al.* *A numerical study of the turbulence model influence on a Savonius wind turbine performance by means of moving mesh*. *J. Mech. Eng. Res. Dev.*, vol. 42, no. 3, pp. 91–93, 2019.
- [6] P. A. Setiawan, T. Yuwono, W. A. Widodo, E. Julianto, and M. Santoso. *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*. *Int. J. Renew. ENERGY Res.*, vol. Vol.9, 2019.
- [7] P. A. Setiawan, T. Yuwono, and W. A. Widodo. *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*. *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1179, no. 1, 2019.
- [8] M. J. Khan, G. Bhuyan, M. T. Iqbal, and J. E. Quaicoe. *Hydrokinetic energy conversion systems and assessment of horizontal and vertical axis turbines for river and tidal applications: A technology status review*. *Appl. Energy*, vol. 86, no. 10, pp. 1823–1835, 2009.
- [9] R. D. Pamungkas. *Studi Eksperimen Pengaruh Silinder Pengganggu Di Depan Returning Blade Turbin*. Vol. 5, no. 2, pp. 599–603, 2016.
- [10] D. Fernando. *Studi Eksperimen Pengaruh Silinder Sirkular Sebagai Pengganggu Aliran Di Depan Sisi Returning Blade Terhadap Performa Turbin Angin Tipe Savonius*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [11] Fox, McDonald, A. T., and R. W. *Introduction to Fluid Mechanics 8th edition*, 8th editio. New York City: John Willey & Sons Inc., 2011.