

# Uji Eksperimental Pengembangan Turbin Hidrokinetik Savonius Berdasarkan Bentuk Profil Distribusi Kecepatan Aliran

**RADITYA YUDISTIRA, DWI ANUNG NINDITO, RADEN HARYO SAPUTRA**

Teknik Sipil Universitas Palangka Raya  
Email: [dwi\\_anungnindito@eng.upr.ac.id](mailto:dwi_anungnindito@eng.upr.ac.id)

## ABSTRAK

*Turbin Tornado Savonius terinspirasi dari bentuk pola distribusi kecepatan yang kecil pada bagian bawah blade turbin kemudian membesar pada bagian atas blade turbin, yang bertujuan memperbesar area bidang tangkap aliran pada bagian atas turbin. Uji eksperimental dilakukan pada saluran prismatic dan membandingkan kinerja antara turbin hidrokinetik Savonius dan turbin Tornado Savonius. Berdasarkan hasil uji eksperimen, turbin Tornado Savonius memiliki performa optimum pada saat kedalaman air di saluran sama dengan tinggi turbin yang diuji coba. Bentuk blade turbin hidrokinetik Tornado Savonius mampu memperbesar area bidang tangkap aliran yang mengenai turbin, sesuai dengan bentuk distribusi kecepatan aliran untuk kondisi kedalaman yang sama dengan tinggi turbin.*

**Kata kunci:** *savonius, hidrokinetik, tornado savonius, distribusi kecepatan aliran.*

## ABSTRACT

*Tornado Savonius turbine inspired by velocity distribution pattern shape which small at the bottom and getting bigger the upper part of turbine blade. Such shape aims to enlarge the flow catchment area at the turbine's upper part. Experimental test performed in prismatic channel by comparing the performance of Savonius hydrokinetic turbine and Tornado Savonius turbine. Based on the result of experimental test, Tornado Savonius turbine has optimum performance at the time of water depth in channel equal to height of the examined turbine. Blade shape of Tornado Savonius hydrokinetic turbine is able to enlarge the flow catchment area in accordance with flow speed distribution shape at the same depth as turbine height.*

**Keywords:** *savonius, hydrokinetic, tornado savonius, flow velocity distribution.*

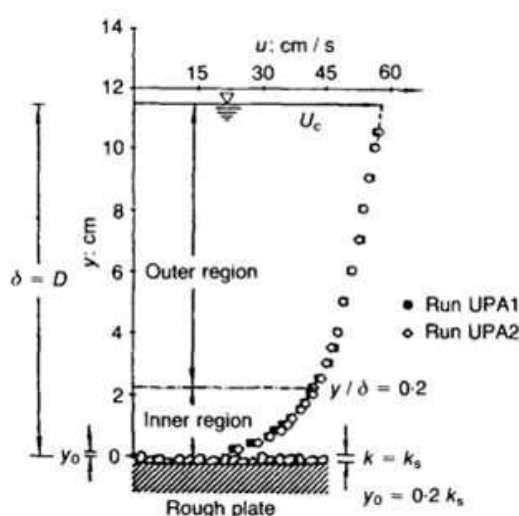
## 1. PENDAHULUAN

Menurut Fleisinger, Vesenjak dan Hriberšek (2014), turbin hidrokinetik adalah turbin yang memanfaatkan energi kinetik dari aliran air. Turbin hidrokinetik dapat diaplikasikan pada saluran air buatan (Torresi, Fortunato dan Camporeale, 2013), area pasang surut (Lago, Ponta dan Chen, 2010), laut (Gorlov, 2001) dan sungai (Khan, Iqbal dan Quaicoe, 2008). Turbin hidrokinetik dibedakan menjadi 2 jenis menurut sumbu putar porosnya, yaitu *horizontal axis water turbine* (HAWT) yang menggunakan beda tinggi (*head*) seperti turbin *archimedes screw* (Juliana, Weking dan Jasa, 2018) dan *vertical axis water turbine* (VAWT) yang menggunakan *low head* seperti turbin DNA yang merupakan hasil pengembangan hidrokinetik turbin gorlov (Antomo, Kamiana dan Nindito, 2020).

Pengaplikasian *vertical axis water turbine* (VAWT) lebih sedikit dilakukan (Hall *et al.*, 2006) karena distribusi kecepatan aliran di penampang saluran yang kurang memaksimalkan konsep hidrokinetik turbin. Distribusi kecepatan aliran tidak sama sepanjang kedalaman saluran, semakin mendekati permukaan kecepatan aliran semakin tinggi (Nindito, 2009). Bentuk profil distribusi kecepatan aliran arah vertikal penampang saluran prismatic menunjukkan semakin mengecil mendekati dasar saluran (Wardani, Nindito dan Jaya, 2020). Perbedaan distribusi kecepatan di saluran terbuka terjadi karena adanya gesekan pada dinding sepanjang saluran, hal ini menyebabkan pembagian kecepatan yang tidak sama dalam penampang saluran (Suciana, Sumiadi dan Sisingsih, 2016).

Modifikasi pada bentuk turbin Savonius perlu dilakukan untuk mengoptimalkan prinsip profil distribusi kecepatan aliran air. Dalam studi ini dikembangkan jenis baru dari turbin hidrokinetik Savonius yang dinamakan turbin Tornado Savonius. Dimensi lengkung *blade* turbin Tornado Savonius disesuaikan dengan bentuk profil distribusi kecepatan aliran di  $0,2h$ ;  $0,6h$ ; dan  $0,8h$  dari kedalaman aliran. Tujuan studi ini adalah mengetahui kinerja yang dihasilkan turbin Tornado Savonius.

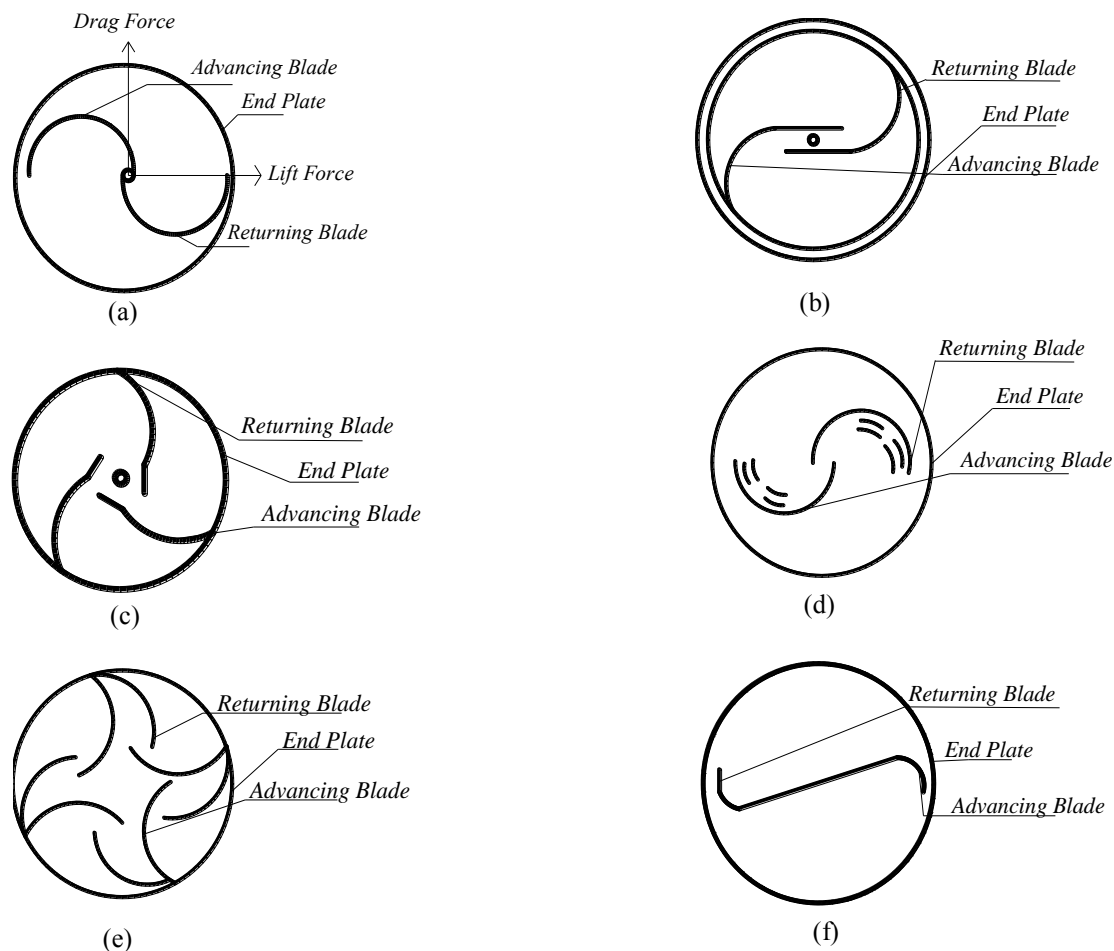
Distribusi kecepatan aliran ditentukan dari beberapa faktor seperti bentuk penampang saluran dan kekasaran saluran. Kecepatan maksimum pada permukaan bebas terjadi pada saluran yang mempunyai arus yang besar atau deras dan dangkal serta dasar saluran yang licin (Suciana, Sumiadi dan Sisingsih, 2016).



**Gambar 1. Profil kecepatan penampang rata-rata pada *rough plate* (Kironoto dan Graf, 1994)**

**Gambar 1** menunjukkan distribusi kecepatan yang kecil pada dasar saluran kemudian meningkat pada bagian atas saluran (Kironoto dan Graf, 1994). Nindito, Istiarto dan Kironoto (2009) melakukan pemodelan numerik tiga dimensi kecepatan aliran air di saluran kantong lumpur. Kecepatan aliran semakin mendekati tepi saluran semakin kecil dan kecepatan maksimum terjadi pada bagian tengah saluran ( $x/B = 1/2$ ).

Turbin Savonius (Savonius dan Finland, 1931) memiliki desain yang sederhana dan dapat berputar pada semua arah aliran.



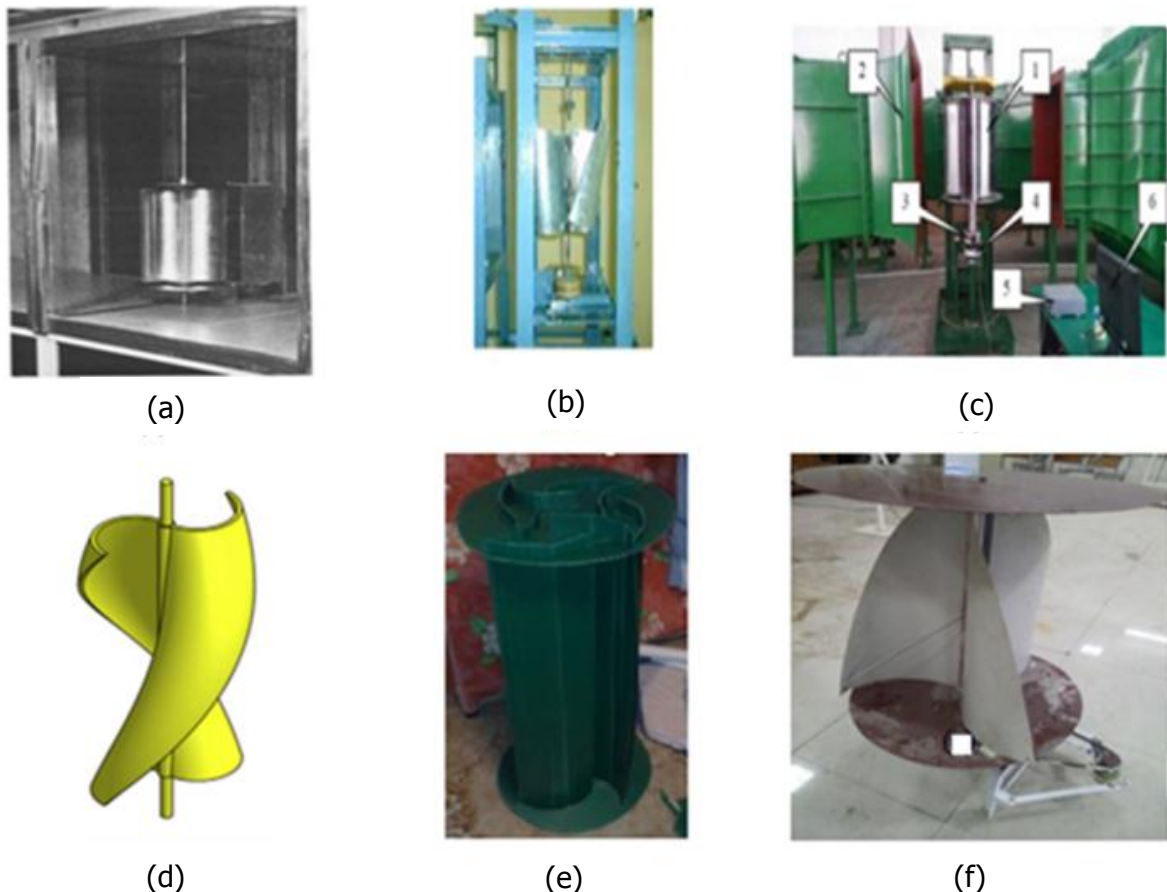
**Gambar 2. Komponen turbin Savonius: a. Savonius (Savonius dan Finland, 1931), b. Bach Modifikasi (Roy, Mukherjee dan Saha, 2014), c. Fish-Ridged (Song et al., 2013), d. Multiple Quarter Semicircular (Sharma dan Sharma, 2016), e. Bronzinus (Muscolo dan Molfino, 2014), f. Spline (Mari, Venturini dan Beyene, 2017)**

Berdasarkan **Gambar 2** menunjukkan bahwa desain turbin Savonius terdiri atas dua bagian utama yaitu *returning blade* dan *advancing blade* yang berfungsi sebagai daerah tangkapan gaya untuk memutar turbin. Dua buah *end plate* berfungsi sebagai tempat meletakkan *blade*. Penggunaan *end plate* di atas dan bawah rotor meningkatkan koefisien daya sebesar 36% dibandingkan dengan tanpa *end plates* (Jeon et al., 2015).

Menurut Alejandro Franco et al., (2017), gaya *drag* didefinisikan sebagai gaya sejajar dengan arah dari aliran yang masuk, sedangkan gaya *lift* merupakan gaya yang bekerja tegak lurus terhadap arah aliran. Turbin Savonius memiliki desain *blade* yang dipengaruhi

gaya *drag*, sedangkan bentuk *blade* turbin Darrieus dan Gorlov dipengaruhi gaya *lift*. Berdasarkan konsep gaya *lift*, perbedaan tekanan antara permukaan *blade* menghasilkan gaya *lift* yang membuat turbin berputar. Gaya *lift* memiliki *self-starting* yang kurang baik, sedangkan gaya *drag* memiliki *self-starting* yang lebih baik (Roy dan Saha, 2013).

Untuk meningkatkan kinerja turbin Savonius, beberapa studi melakukan inovasi untuk membuat bentuk *blade* yang berbeda.



**Gambar 3. Inovasi desain turbin Savonius (a) *Semicircular* (Alexander dan Holownia, 1978), (b) *Twisted* (Grinspan, Saha dan Mahanta, 2004), (c) *Fish-ridged* (Song *et al.*, 2013), (d) *Helical* (Jeon *et al.*, 2015), (e) *Bronzinus* (Muscolo dan Molfino, 2014), (f) *Savonius Modifikasi* (Baredar dan Gupta, 2019)**

Bentuk *twisted* (**Gambar 3b**) melakukan perbandingan secara eksperimental terhadap turbin *Semicircular*. Hasil desain turbin *twisted* meningkatkan torsi positif sebesar 20% (Grinspan dan Mahanta, 2004). *Fish-ridged* (**Gambar 3c**) mempunyai bentuk yang lebih sederhana dan performa yang lebih baik (Song *et al.*, 2013). Turbin bentuk *Helical* Savonius (**Gambar 3d**) dapat meningkatkan  $C_p$  sebesar 8,6% dibandingkan dengan turbin klasik Savonius. Turbin Bronzinus (**Gambar 3e**) memiliki kinerja  $C_p$  yang lebih tinggi dari pada turbin Savonius bentuk *Semicircular*. Savonius modifikasi (**Gambar 3f**) dapat mereduksi kebisingan sebesar 8-9% pada saat turbin berputar.

**Tabel 1. Hasil studi kinerja turbin Savonius berdasarkan hubungan *Coefficient of Power* ( $C_p$ ) dan *Tip Speed Ratio* ( $\lambda$ )**

Peneliti	Jenis turbin	Hubungan $C_p$ dan $\lambda$ pada studi terdahulu	Pembahasan hasil studi turbin Savonius
Wenehenubun, Saputra dan Sutanto, 2015.	Savonius 4 blade		Variasi kecepatan yang diujikan antara 1-10 m/s. <i>Tip speed ratio</i> tertinggi adalah 0,555 pada kecepatan aliran 0,7 m/s.
Roy, Mukherjee dan Saha, 2014.	<i>Bach</i> modifikasi		Hasil eksperimen turbin <i>Bach</i> modifikasi menghasilkan nilai $C_{pmax}$ sebesar 0,39 pada saat TSR sebesar 0,90. Eksperimen dilakukan pada kecepatan aliran 6,2 m/s
Sharma dan Sharma, 2016.	<i>Multiple Miniatur Semicircular</i>		Hasil eksperimen pada kecepatan aliran sebesar 8,23 m/s menghasilkan nilai $C_{pmax}$ = 0,2266.

Perhitungan uji eksperimental pengembangan turbin hidrokinetik Savonius diamati dengan melihat nilai *tip speed ratio* ( $\lambda$ ) dan *Coefficient of Power* ( $C_p$ ) (Elbatran, Ahmed dan Shehata, 2017). *Tip speed ratio* ( $\lambda$ ) dan *Coefficient of Power* ( $C_p$ ) dapat dihitung dengan

**Persamaan 1:**

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60 \text{detik}}, \quad C\tau = \frac{4\tau}{\rho v^2 D^2 H}, \quad \lambda = \frac{\omega \cdot D}{2 \cdot v}, \quad C_p = \lambda C\tau \quad (1)$$

dengan  $D$  adalah diameter turbin [m];  $v$  adalah kecepatan aliran air [m/detik];  $n$  adalah jumlah putaran turbin;  $\omega$  adalah kecepatan sudut [rad/detik];  $\tau$  adalah torsi [Nm];  $\rho$  adalah densitas air [kg/m<sup>3</sup>]; dan  $H$  adalah tinggi turbin [m].

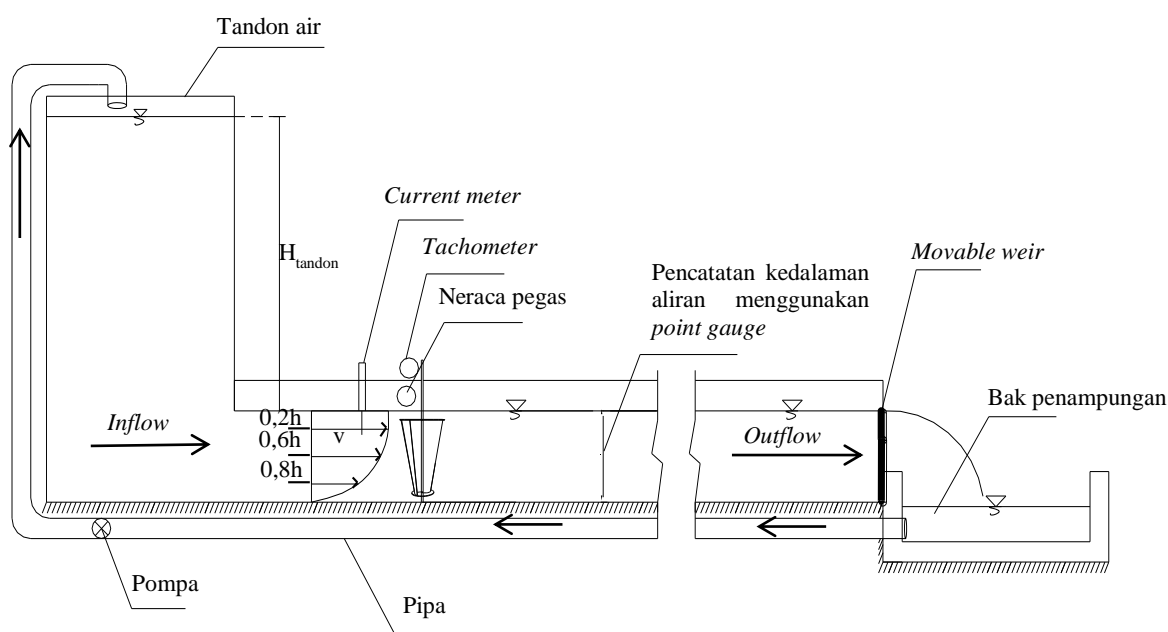
**Tabel 2. Perbandingan Kinerja Berbagai Profil Blade Turbin Savonius**

Bentuk Blade	$C_{pmax}$	$TSR_{optimal}$	Referensi
Semicircular	0,17	0,9-1,0	(Ogawa, Yoshida dan Yokota, 1989)
Bach	0,178	0,8	(Kacprzak, Liskiewicz dan Sobczak, 2013)
Spline	0,2477	1,2	(Mari, Venturini dan Beyene, 2017)
Helical	0,2	0,71	(Kamoji, Kedare dan Prabhu, 2009)
Airfoil shape	0,22	0,7-0,9	(Tartuferi <i>et al.</i> , 2015)
Multiple quarter semicircular	0,2266	0,74	(Sharma dan Sharma, 2016)

**Tabel 2** menunjukkan perbandingan kinerja profil *blade* turbin hidrokinetik Savonius yang telah dimodifikasi. Bentuk *blade semicircular* memiliki nilai *Coefficient of Power* ( $C_p$ ) terendah dibandingkan dengan bentuk turbin Savonius modifikasi lainnya sehingga banyak peneliti yang membandingkan bentuk *blade* inovasi yang dilakukan dengan bentuk *semicircular*.

## 2. METODE PENGUJIAN

**Gambar 4** menunjukkan skema dalam pengujian turbin hidrokinetik Tornado Savonius yang merupakan hasil pengembangan turbin hidrokinetik Savonius berdasarkan bentuk profil distribusi kecepatan aliran. Pengujian ini dilakukan pada saluran prismatic (*flume*). Variasi kecepatan aliran ( $v$ ) dihasilkan dari beda tinggi ( $H_{tandon}$ ) antara elevasi permukaan air di tandon dengan permukaan air di saluran. *Movable weir* adalah alat yang berfungsi mempertahankan ketinggian air saluran yang digunakan pada saat pengujian. *Point gauge* adalah alat pengukur ketinggian aliran air pada saat pengujian. Nilai kecepatan aliran pada uji eksperimental turbin Tornado Savonius diukur menggunakan alat *current meter* pada kedalaman aliran  $0,2h$ ;  $0,6h$ ; dan  $0,8h$  dari permukaan air. Pengukuran kecepatan aliran dilakukan pada bagian tengah saluran. Rotasi Per Menit (RPM) diukur dengan menggunakan alat *tachometer*. Nilai gaya diukur dengan menggunakan neraca pegas. Nilai torsi ( $\tau$ )



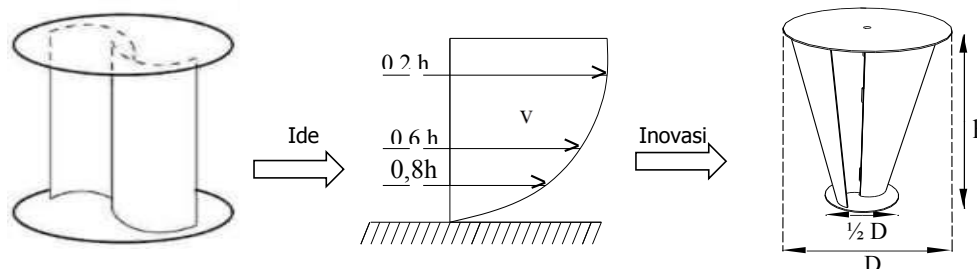
didapat dari perhitungan nilai gaya [N] dikali dengan panjang lengan gaya [m].

**Gambar 4. Skema pengujian turbin Tornado Savonius pada saluran prismatic**

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

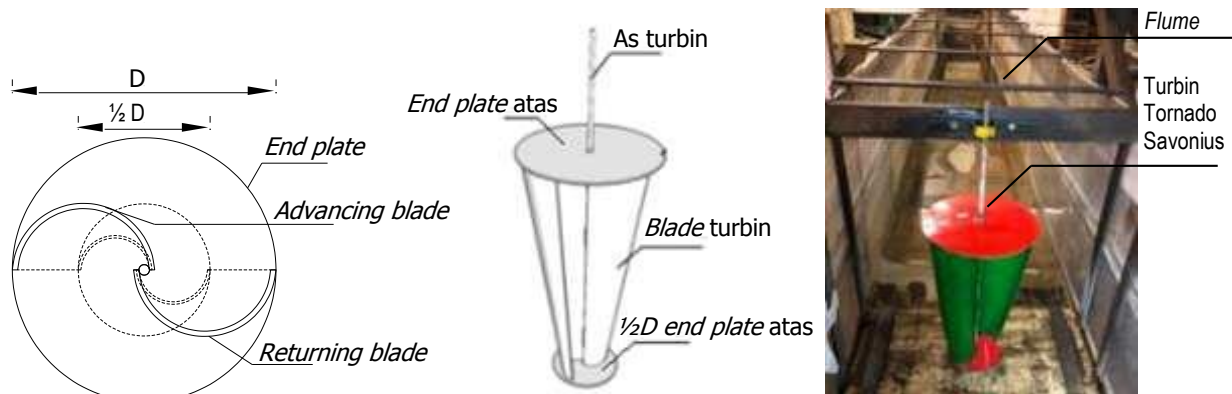
#### 3.1 Desain turbin hidrokinetik Tornado Savonius

Desain turbin hidrokinetik Tornado Savonius diadaptasi dari bentuk profil distribusi kecepatan aliran yang besar pada bagian atas dan mengecil pada bagian bawah. Pada saat berputar, bentuk turbin Tornado Savonius menyerupai bentuk angin tornado yang kecil pada bagian bawah *end plate* dan mulai membesar pada bagian atas *end plate* yang dapat dilihat pada **Gambar 5**.



**Gambar 5. Pengembangan desain turbin Savonius menjadi Tornado Savonius**

Pembesaran pada bagian atas *blade* turbin Tornado Savonius bertujuan agar meningkatkan luas bidang tangkap energi kinetik yang dihasilkan oleh aliran air sesuai bentuk distribusi kecepatan.



**Gambar 6. Desain dan dimensi turbin Tornado Savonius**

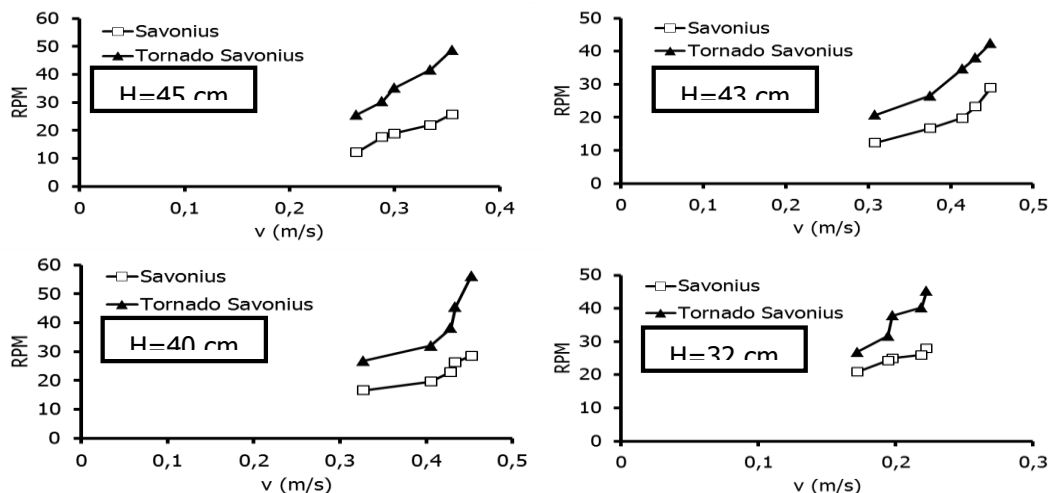
**Gambar 6** menunjukkan komponen dan dimensi turbin Tornado Savonius dan posisi turbin pada saat uji eksperimen dalam saluran prismatic (*flume*).

**Tabel 3. Spesifikasi turbin Tornado Savonius**

Komponen Turbin	Dimensi
Tinggi turbin [cm]	38
Jumlah <i>blade</i> turbin [buah]	2
Diameter <i>end plate</i> bagian atas [cm]	25
Diameter <i>end plate</i> bagian bawah [cm]	12,5
Diameter as turbin [cm]	1
Tinggi as turbin [cm]	75

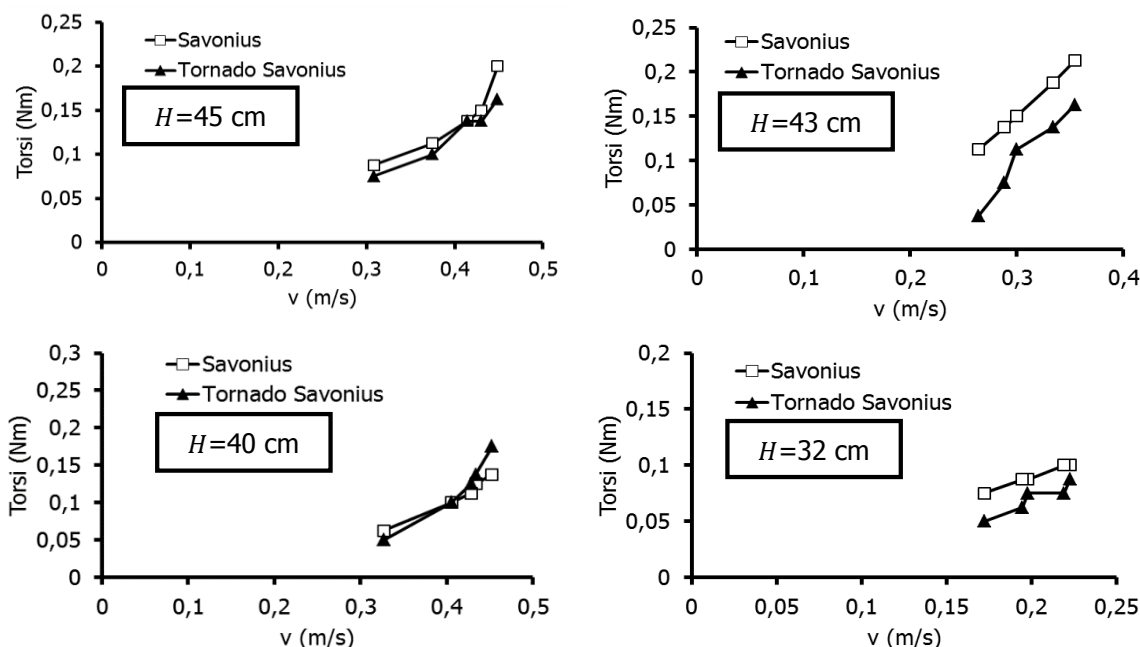
**Tabel 3** menunjukkan komponen turbin Tornado Savonius dan dimensi yang digunakan pada saat melakukan pengujian eksperimental.

### 3.2 Kinerja Turbin Tornado Savonius



**Gambar 7. Hubungan antara (RPM) dan kecepatan aliran (v) turbin Savonius dan turbin Tornado Savonius**

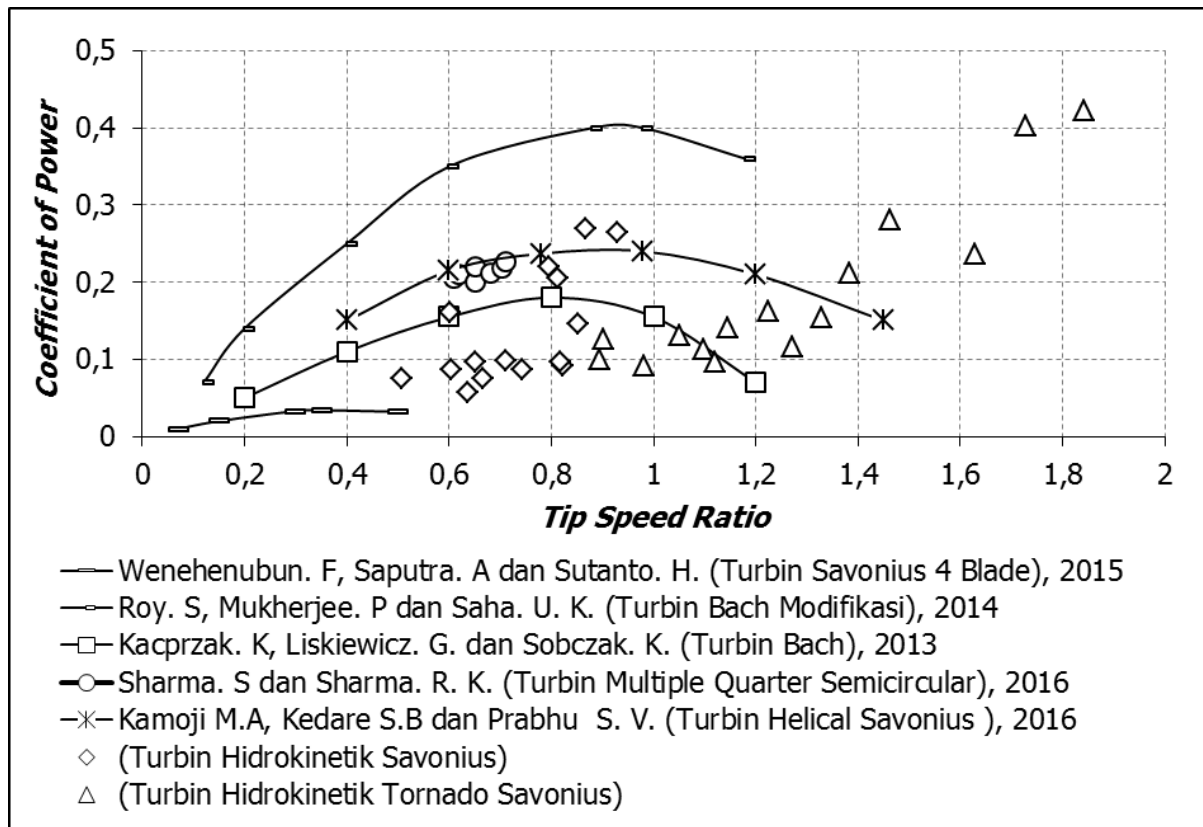
**Gambar 7** menunjukkan hasil pengujian turbin Savonius dan Tornado Savonius pada masing-masing kedalaman aliran pengukuran (H) 32cm, 40cm, 43cm dan 45cm. Pengujian dilakukan pada kecepatan aliran (v) sebesar 0,172–0,453m/s. Pada kecepatan tersebut turbin Savonius menghasilkan nilai Rotasi Per Menit (RPM) sebesar 12,2–28,9 sedangkan nilai RPM turbin Tornado Savonius sebesar 20,7–56,1. Berdasarkan nilai tersebut turbin Tornado Savonius memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan turbin Savonius dari nilai RPM.



**Gambar 8. Hubungan antara torsi (τ) dan kecepatan aliran (v) turbin Savonius dan turbin Tornado Savonius**



**Gambar 8** menunjukkan nilai torsi ( $\tau$ ) pada turbin Savonius dan turbin Tornado Savonius dari pengujian pada variasi kecepatan aliran ( $v$ ) antara 0,172–0,453 m/s. Nilai torsi ( $\tau$ ) yang dihasilkan turbin Savonius adalah 0,063-0,213 Nm dan nilai torsi ( $\tau$ ) yang dihasilkan oleh turbin Tornado Savonius adalah 0,038-0,175 Nm. Berdasarkan **Gambar 8** terlihat rata-rata performa turbin Tornado Savonius lebih rendah dibandingkan dengan turbin Savonius dari sisi perolehan nilai torsi ( $\tau$ ). Pada kondisi kedalaman air yang sama dengan tinggi turbin, performa torsi turbin Tornado Savonius lebih unggul dari pada turbin Savonius. Hal ini ditunjukkan dari gradien perubahan kecepatan terhadap torsi turbin Tornado Savonius lebih tinggi dari turbin Savonius.



**Gambar 9.** Perbandingan *tip speed ratio* ( $\lambda$ ) dan *Coefficient of Power* ( $C_p$ ) turbin Tornado Savonius dengan studi sebelumnya

**Gambar 9** menunjukkan bahwa turbin Tornado Savonius memiliki nilai *Coefficient of Power* ( $C_p$ ) sebesar 0,091-0,422 dan *tip speed ratio* ( $\lambda$ ) sebesar 0,895-1,843. Lebih tinggi dibandingkan nilai  $C_p$  dan  $\lambda$  turbin Savonius dengan nilai *Coefficient of Power* ( $C_p$ ) sebesar 0,057-0,270 pada rentang *tip speed ratio* ( $\lambda$ ) sebesar 0,508–0,929. Hasil perbandingan performa turbin Tornado Savonius menghasilkan pola grafik yang tidak jauh berbeda dengan *multiple quarter semicircular* (Sharma dan Sharma, 2016). Turbin Tornado Savonius memiliki  $C_p$  yang lebih tinggi dari pada Savonius 4 *blade* ( $C_{pmax} = 0,033$ ) (Wenehenubun, Saputra dan Sutanto, 2015), *bach* modifikasi ( $C_{pmax} = 0,4$ ) (Roy, Mukherjee dan Saha, 2014), *bach* ( $C_{pmax} = 0,178$ ), (Kacprzak, Liskiewicz dan Sobczak, 2013), dan *Helical Savonius* ( $C_{pmax} = 0,2$ ) (Kamoji, Kedare dan Prabhu, 2009). Hal ini dikarenakan turbin Tornado Savonius dapat memaksimalkan gaya *lift* pada kedalaman saluran yang sama dengan tinggi turbin, sedangkan turbin Savonius peneliti sebelumnya mengandalkan gaya *drag*.

#### 4. KESIMPULAN

Perubahan bentuk *blade* turbin Savonius dengan memperkecil ukuran *blade* pada bagian bawah sehingga bentuknya serupa dengan bentuk distribusi kecepatan aliran merupakan inovasi dari studi ini. Turbin Tornado Savonius menghasilkan *Coefficient of Power* ( $C_p$ ) sebesar 0,091–0,422 pada saat *range tip speed ratio* ( $\lambda$ ) 0,895–1,843. Nilai ini lebih besar jika dibandingkan dengan turbin Savonius yang memiliki nilai *Coefficient of Power* ( $C_p$ ) 0,057–0,270 pada saat nilai *tip speed ratio* ( $\lambda$ ) sebesar 0,508–0,929. Pada rentang kecepatan aliran 0,172–0,453m/s; perubahan bentuk *blade* yang mengikuti pola distribusi kecepatan aliran membuat nilai Rotasi Per Menit (RPM) turbin Tornado Savonius lebih besar dibandingkan dengan turbin Savonius, namun mengalami penurunan kinerja pada torsi ( $\tau$ ) yang dihasilkan. Pengujian yang dilakukan pada *blade* bagian bawah dengan ukuran berbeda yaitu  $\frac{1}{4}$  atau  $\frac{3}{4}$  dari diameter turbin menjadi hal yang menarik untuk studi selanjutnya.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Alejandro, F. J., Carlos, J. J., Carbajal, A., & Toledano-Ayala, M. (2017). Shape Morphing Mechanism for Improving Wind Turbines Performance. *Journal of Energy Resources Technology, Transactions of the ASME*, 139(5).
- Alexander, A. J., & Holownia, B. P. (1978). Wind Tunnel Tests on A Savonius Rotor. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 3(4), 343–351.
- Antomo, T., Kamiana, I. M., & Nindito, D. A. (2020). Analisis Pengembangan Hidrokinetik Turbin Gorlov Akibat Penambahan Luas Bidang Tangkap. *Teknika: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 16(2), 159.
- Baredar, P., & Gupta, B. (2019). Performance Estimation of Modified Savonius Wind Turbine Blade Profile. *SSRN Electronic Journal*.
- Elbatran, A. H., Ahmed, Y. M., & Shehata, A. S. (2017). Performance Study of Ducted Nozzle Savonius Water Turbine, Comparison with Conventional Savonius Turbine. *Energy*, 134, 566–584.
- Fleisinger, M., Vesenjok, M., & Hriberšek, M. (2014). Flow driven analysis of a darrieus water turbine. *Strojnicki Vestnik/Journal of Mechanical Engineering* 60(12), 769–776. Assoc. of Mechanical Eng. and Technicians of Slovenia.
- Gorlov, A. M. (2001). Tidal Energy. In *Encyclopedia of Ocean Sciences*.
- Grinspan, A. S., Saha, U. K., & Mahanta, P. (2004). Experimental Investigation of Twisted Bladed Savonius Wind Turbine Rotor. *International Energy Journal*, 5(1), 1–9.
- Hall, D. G., Reeves, K., Brizzee, J., Lee, R., Carroll, G., & Sommers, G. (2006). Feasibility Assessment of the Water Energy Resources of the United States for New Low Power and Small Hydro Classes of Hydroelectric Plants. *US Department of Energy*.
- Jeon, K. S., Jeong, J. I., Pan, J. K., & Ryu, K. W. (2015). Effects of End Plates With Various Shapes and Sizes on Helical Savonius Wind Turbines. *Renewable Energy*, 79(1), 167–176.
- Juliana, I. P., Weking, A. I., & Jasa, L. (2018). Pengaruh Sudut Kemiringan Head Turbin Ulir Terhadap Daya Putar Turbin Ulir Dan Daya Output Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 17(3), 393.
- Kamoji, M. A., Kedare, S. B., & Prabhu, S. V. (2009). Performance Tests on Helical Savonius Rotors. *Renewable Energy*, 34, 521–529.
- Kacprzak, K., Liskiewicz, G. & Sobczak, K. (2013). Numerical investigation of conventional and modified Savonius wind turbines. *Renewable Energy*, Elsevier Ltd, 60, pp. 578–585.
- Khan, M. J., Iqbal, M. T., & Quaicoe, J. E. (2008). River Current Energy Conversion Systems: Progress, Prospects and Challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.

- Kironoto, B. A., & Graf, W. H. (1994). Turbulence Characteristics in Rough Uniform Open-Channel. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Water, Maritime and Energy*, 106, 333–344.
- Lago, L. I., Ponta, F. L., & Chen, L. (2010). Advances and Trends in Hydrokinetic Turbine Systems. *Energy for Sustainable Development*, 14(4), 287–296.
- Mari, M., Venturini, M., & Beyene, A. (2017). A Novel Geometry For Vertical Axis Wind Turbines Based on The Savonius Concept. *Journal of Energy Resources Technology*, 139(6).
- Muscolo, G. G., & Molino, R. (2014). From Savonius to Bronzinus: A Comparison Among Vertical Wind Turbines. *Energy Procedia*, 50, 10–18.
- Nindito, D. A. (2009). Pengaruh Profil Distribusi Kecepatan Terhadap Hasil Perhitungan Kecepatan Gesek Pada Aliran Bersedimen di Lokasi Pengukuran Arah Transversal Saluran Tampang Segiempat. *Jurnal Proteksi*, 1(1), 8–15.
- Nindito, D. A., Istiarto, I., & Kironoto, B. A. (2008). Simulasi Numeris Tiga Dimensi Kantong Lumpur Bendung Sapon. *Civil and Environmental Engineering Departmen Faculty of Engineering Gadjah Mada University*, 18, 712-724.
- Ogawa, T., Yoshida, H., & Yokota, Y. (1989). Development of Rotational Speed Control Systems for a Savonius-Type Wind Turbine. *Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME*, 111, 53–58.
- Roy, S., Mukherjee, P., & Saha, U. K. (2014). Aerodynamic Performance Evaluation of A Novel Savonius-Style Wind Turbine Under an Oriented Jet. *ASME 2014 Gas Turbine India Conference, GTINDIA 2014*.
- Roy, S., & Saha, U. K. (2013). Review of Experimental Investigations into the Design, Performance and Optimization of the Savonius Rotor. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 227(4), 528–542.
- Savonius, S. J., & Finland, H. (1931). Mechanical Engineering. *Mechanical Engineering*, 53(5), 331–338.
- Sharma, S., & Sharma, R. K. (2016). Performance Improvement of Savonius Rotor Using Multiple Quarter Blades – A CFD Investigation. *Energy Conversion and Management*, 127, 43–54.
- Song, L., Yang, Z. X., Deng, R. T., & Yang, X. G. (2013). Performance and Structure Optimization For a New Type of Vertical Axis Wind Turbine. *International Conference on Advanced Mechatronic Systems, ICAMechS*, 687–692.
- Suciana, A. T., Sumiadi, & Sisingih, D. (2016). Kajian Distribusi Kecepatan Aliran Sebelum dan Sesudah Belokan di Saluran Terbuka Menggunakan Acoustic Doppler Velocimeter (ADV). *Jurnal Teknik Pengairan Konsentrasi Perencanaan Bangunan Air*.
- Tartuferi, M., D'Alessandro, V., Montelpare, S., & Ricci, R. (2015). Enhancement of Savonius Wind Rotor Aerodynamic Performance: A Computational Study of New Blade Shapes and Curtain Systems. *Energy*, 79, 371–384.
- Torresi, M., Fortunato, B., & Camporeale, S. M. (2013). Numerical Investigation of a Darrieus Rotor For Low-head Hydropower Generation. *Procedia - Procedia Computer Science*, 19, 728–735.
- Wardani, C. S., Nindito, D. A., & Jaya, A. R. (2020). Inovasi Dan Desain Turbin Hidrokinetik Darrieus Berdasarkan Bentuk Distribusi Kecepatan Aliran. *Media Ilmiah Teknik Sipil*, 9(1), 32–43.
- Wenehenubun, F., Saputra, A., & Sutanto, H. (2015). An Experimental Study on The Performance of Savonius Wind Turbines Related With The Number of Blades. *Energy Procedia*, 68, 297–304.