

PENGARUH KELENGKUNGAN DEFLEKTOR TURBIN SAVONIUS MODIFIKASI UNTUK TURBIN HIDROKINETIK

Rendi,^{1,a *}, Budi Hatradi^{2,b}

^{1,2} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Kalimantan, Jl. Adhyaksa, Kayu Tangi 1 Jalur 2 No.2, Sungai Miai, Kec. Banjarmasin Utara, Kota Banjarmasin, Kalimantan Selatan 70123. Indonesia HP. 085651122129

^arendi.teknikmesin@gmail.com

Abstrak

Keterbatasan daya listrik di wilayah pedesaan yang memiliki sungai kecil dapat diatasi dengan turbin hidrokinetik Savonius. turbin ini adalah turbin yang sangat sederhana dan mampu beroperasi di aliran lambat namun memiliki kekurangan yaitu koefisien tenaganya yang sangat rendah, untuk mengatasi itu bisa menggunakan perangkat tambahan (augmentasi) seperti deflektor, namun pengaruh kelengkungan deflektor yang dimodifikasi untuk turbin hidrokinetik belum dipelajari. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh kelengkungan deflektor dengan memvariasikan rasio kelengkungan.

Kata kunci : Turbin, deflektor, kelengkungan

Abstract

The limitation of electric power in rural areas with small rivers can be overcome by the Savonius hydrokinetic turbine. this turbine is a very simple turbine and is able to operate in slow flow but has the disadvantage that the coefficient of power is very low, to overcome this it can use augmentations such as deflectors, but the effect of modified deflector curvature for hydrokinetic turbines has not been studied. This study aims to study the effect of deflector curvature by varying the curvature ratio.

Keywords: Turbine, deflector, curvature

PENDAHULUAN

Turbin hidrokinetik adalah salah satu turbin yang dalam 10 tahun terakhir ini banyak dikembangkan dan menjadi terkenal diseluruh dunia. Hal ini tidak terlepas dari keunikan prinsip kerjanya yang hanya memanfaatkan kecepatan aliran air. (Behrouzi et al. 2016) dan (Vermaak, Kusakana, and Koko 2014). Sangat berbeda dengan turbin-turbin lain yang kebanyakan bekerja memanfaatkan tinggi jatuh air. Oleh karena prinsip yang hanya

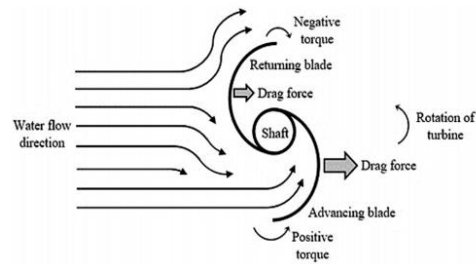
memanfaatkan kecepatan aliran air maka, turbin hidrokinetik ini dapat dikatakan turbin yang paling praktis dan sangat cocok diterapkan di wilayah pedesaan yang belum memiliki jangkauan listrik (Sarma, Biswas, and Misra 2014)

Turbin hidrokinetik bila ditinjau dari sumbunya, diklasifikasikan dalam dua sumbu yaitu sumbu vertikal dan sumbu horizontal kedua sumbu ini memiliki keunikan tersendiri (Wahyudi, Soeparman, and Hoeijmakers 2013). Ada dua jenis rotor turbin hidrokinetik

yang sangat dikenal di dunia yaitu jenis rotor Darius yang disebut sebagai turbin daruis dan jenis rotor Savonius yang disebut turbin Savonius (Benedicto et al. 2012) dan (Mabrouki, Driss, and Abid 2014). Kedua turbin ini memiliki prinsip kerja yang sangat berbeda masing masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Bila ditinjau dari prinsip kerjanya, turbin Daruis bekerja memanfaatkan Gaya *lift* sehingga turbin ini memiliki koefisien tenaga yang besar yaitu antara 0.4 sampai 0.5, tetapi memiliki kelemahan star awal yang buruk, konstruksi rumit dan tidak dapat bekerja di aliran lambat (Ahmed and Cameron 2014) dan (Moghimi and Motawej 2020) oleh karena itu turbin ini lebih cocok aliran arus laut. Berbeda dengan rekannya yaitu turbin Savonius yang bekerja memanfaatkan Gaya drag, memiliki koefisien tenaga yang rendah (biasanya tidak lebih dari 0.2) tetapi memiliki kelebihan star awal yang sangat baik, konstruksi sederhana dan dapat bekerja di aliran lambat (Ostos et al. 2019) dan (T. Ogawa, Yoshida, and Yokota 1989). Oleh karena itu turbin ini dapat dikatakan sebagai turbin yang sangat praktis, bisa ditempatkan di berbagai kondisi aliran air baik aliran cepat maupun aliran lambat dan sangat cocok diterapkan di wilayah pedesaan yang memiliki ketersediaan aliran sungai.

Turbin Savonius konvensional pada umumnya memiliki sudu berbentuk setengah lingkaran, sudu dibentuk menyerupai huruf “S”, sehingga pada bagian sudu akan bekerja dua buah gaya, yaitu sudu yang memberikan gaya positif dinamakan *advancing blade* dan sudu yang memberikan gaya negatif dinamakan *returning blade* (Roy and Saha 2013) dan (Al-Ghriybah et al. 2019). Selisih kedua gaya ini menghasilkan tenaga yang digunakan

untuk memutar turbin (Sarkar and Bhattacharyya 2012) dan (Tian, Mao, and Ding 2019). Seperti yang ditunjukkan pada gambar 1. Ini lah yang membuat turbin Savonius memiliki koefisien tenaga yang buruk (tidak lebih dari 0.2).



Gambar 1 Prinsip kerja turbin Savonius

Berdasarkan fakta tersebut, berbagai penelitian telah dilakukan baik secara numerik maupun secara eksperimen telah dilakukan. Salah satunya adalah dengan mengoptimalkan desain turbin seperti parameter aspect ratio (Kamoji, Kedare, and Prabhu 2009), overlap ratio (Khan and Energy 2009), end plate ratio (Jeon et al. 2015), propil sudu (Ostos et al. 2019), dan jumlah sudu (Saha, Thotla, and Maity 2008). Selain itu ada beberapa penelitian yang menggabungkan antara Daruis dan Savonius (Pan et al. 2019). Selain mengoptimalkan parameter-parameter desain, ada beberapa penelitian menggunakan teknik augmentasi seperti menambahkan plat deflektor (Alom and Saha 2019), menambahkan pengarah baling-baling (Manganhar et al. 2019) dan menambahkan kotak pemandu arah aliran (29) terbukti dapat meningkatkan koefisien tenaga turbin sangat signifikan sampai 150 % bila dibandingkan dengan tidak menggunakan teknik augmentasi. Artinya teknik augmentasi ini mampu mengurangi gaya negatif pada *returning blade* (Grönman, Tiainen, and Jaatinen-Värri 2019).

Alexander dan Holownia adalah orang pertama yang mengusulkan penambahan plat deflektor depan rotor, pengujian dilakukan pada turbin angin model Savonius hasilnya, dengan ditambahkan deflektor mampu meningkatkan koefisien tenaga turbin (Alexander and Holownia 1978). Kemudian Ogawa dan Yoshida mencoba mengkaji pengaruh kemiringan sudut plat deflektor mulai dari 20° sampai 90° hasil kajian kemiringan sudut plat deflektor berpengaruh terhadap koefisien tenaga turbin, sudut plat deflektor 90° memberikan peningkatan koefisien tenaga sebesar 24% (Tainori Ogawa 1986). Kemudian hal yang sama dilakukan oleh Muhammed et al menguji turbin dengan plat deflektor dengan mengubah jumlah sudu dari 2 sudu ke 3 hasil pengujian koefisien tenaga tidak berpengaruh signifikan hanya memiliki peningkatan berturut-turut 27.3% dan 27.5% (Mohamed et al. 2010). Kemudian Goleccha et al melakukan eksperimen terhadap turbin air hidrokinetik dengan pengaturan sudut plat deflektor dari 30° sampai 160° . Hasil penelitian sudut plat deflektor 101° memberikan peningkatan koefisien tenaga sebesar 50% (Goleccha, Eldho, and Prabhu 2011). Kemudian Goleccha et al kembali melakukan penelitian seperti sebelumnya tetapi pada penelitian ini ditambahkan plat pengarah aliran di bagian atas sudu terjadi hasilnya dengan penambahan plat pengarah aliran diatas sudu dapat peningkatan koefisien tenaga (C_p) sebesar 150%. (Kailash, Eldho, and Prabhu 2012)

Dari penelusuran pustaka yang telah dilakukan, dapat dikatakan bahwa teknik augmentasi seperti penambahan deflektor yang di integrasikan pada turbin Savonius dapat meningkatkan

kinerja turbin. Beberapa studi eksperimen telah dilakukan seperti yang ditunjukan pada Tabel 1 dimana dengan penggunaan dua (2) buah deflektor dapat meningkatkan kinerja turbin lebih baik namun pada studi ini hanya mempertimbangkan sudut deflektor dan posisi (sepanjang sumbu x) dan tidak mempertimbangkan parameter deflektor lain seperti kelengkungan deflektor. Data eksperimen kelengkungan deflektor belum tersedia. Okeh karena itu penelitian ini akan mempelajari pengaruh kelengkungan deflektor terhadap kinerja turbin Savonius yang dimodifikasi untuk turbin hidrokinetik.

Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yaitu dengan membuat turbin air rotor Savonius mengacu pada penelitian-penelitian sebelumnya seperti dijelaskan pada poin berikut: Model turbin Savonius mengacu pada penelitian Patel et al (2016). Dimana hasil kajiannya, model turbin savonius yang paling optimal memiliki parameter aspek, rasio, $AR = 0.4$ dan parameter overlap rasio $OR = 0.1$ seperti ditunjukan pada gambar 2 berikut ini:

Tabel 1

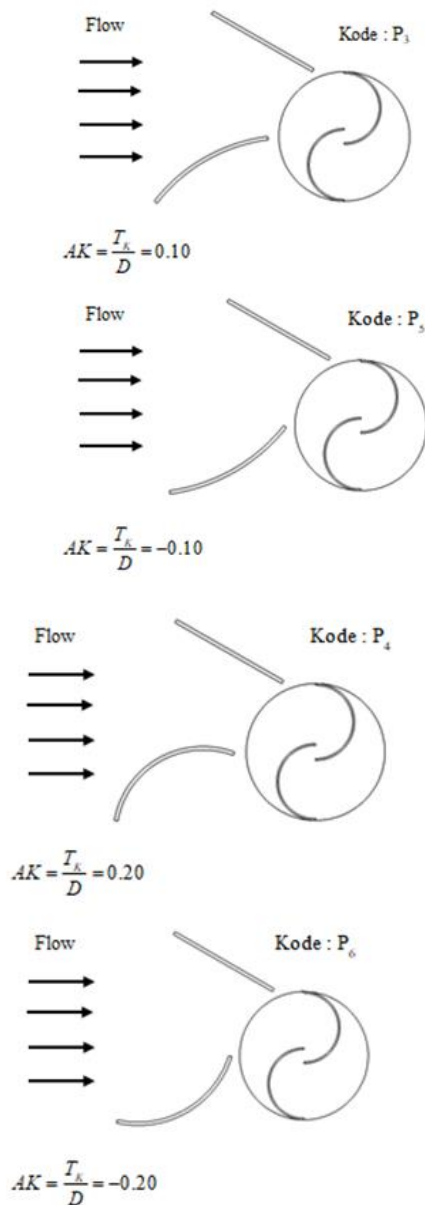
Parameter model turbin Savonius Hidrokinetik

Parameter	Nilai	Satuan
Jumlah sudu, n	2	-
Tinggi turbin, H	9.2	cm
Diameter turbin, D	23	cm
Aspek, rasio, AR	0.40	-
Overlap rasio OR	0.10	-



Gambar 2 Model turbin Hidrokinetik Savonius

Untuk mengetahui pengaruh kelengkungan deflektor model turbin savonius yang dimodifikasi untuk turbin hidrokinetik terhadap peningkatan kinerjanya maka dalam penelitian ini di variasikan kelengkungan deflektornya seperti ditunjukkan pada gambar 3. berikut :



Gambar 3 Tipe kelengkungan Defelktor

Kelengkungan deflektor ini nantinya akan dibandingkan dengan turbin Savonius tanpa deflektor dan turbin Savonius dengan deflektor datar

Tabel 2

Variabel dan Pengkodean

Variabel	KODE	Cp	CT
Tanpa Deflektor	P1	...	...
Deflektor plat Datar	P2	...	...
Kelengkungan tipe A	P3	...	...
Kelengkungan tipe B	P4	...	...
Kelengkungan tipe C	P5	...	...
Kelengkungan tipe D	P6	...	...

Untuk pengambilan data kecepatan putaran turbin, dilakukan pengukuran dengan menggunakan alat ukur thacometer kontak yang di pasang langsung di poros turbin. Untuk mengukur torsi menggunakan metode pembebanan seperti ditunjukkan pada gambar berikut : dimana putaran pully di tahan dengan beban tertentu kemudian kekuatannya di ukur dengan timbangan digital



Gambar 4. Pengukuran torsi dengan metode pembebanan

Besarnya kinerja turbin Savonius ditentukan oleh besarnya koefisien tenaga (C_p) dan koefisien torsi (C_t). Koefisien tenaga (C_p) adalah rasio daya mekanik yang dihasilkan oleh turbin terhadap luas area turbin pada saat aliran air mengenai sudu turbin dan dinyatakan dalam persamaan

$$C_p = \frac{2P_o}{\rho DHU^3}$$

Dimana ρ adalah masa jenis fluid, U adalak kecepatan aliran air dan P_o adalah daya mekanik. P_o bisa diperoleh dari

$$P_o = T.\omega$$

Dimana T adalah torsi yang dihasilkan oleh turbin dan ω adalah kecepatan sudut putar roda turbin. Nilai torsi (T) dapat diukur dengan menyatel dinamometer rem pembedanan dengan persamaan

$$T = (F_1 - F_2)r_p$$

Dimana F_1 dan F_2 adalah beban pengereman yang diperoleh selteha menyatel dinamometer kemudian kecepatan sudut putaran turbin dihitung dengan persamaan

$$\omega = \frac{2\pi}{60} \times \text{RPM}$$

Dimana RPM turbin dapat diperoleh dengan mengukur kecepatan putaran turbin menggunakan thacometer. Kemudian koefesien torsi baru dapat dihitung setelah pamaeter parameter diatas ada. Dihitung dengan persamaan

$$C_T = \frac{4T}{\rho D^2 H U^2}$$

Dimana disini koefesien tenaga (C_p) dan koefesien torsi (C_t) merupakan persamaan yang tidak berdimensi. koefesien tenaga (C_p) dan koefesien torsi (C_t) biasanya di sajikan dengan rasio kecepatan ujung (tangensial)

$$\lambda = \frac{\omega D}{2U}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum dilakukan pengujian, terlebih dahulu dilakukan pengukuran terhadap kecepatan aliran sungai yang menjadi titik dimana turbin akan di uji. Metode yang digunakan yaitu dengan menghitung jarak tempuh benda yang dilarutkan dalam waktu tertentu. Pengukuran dilakukan sebanyak 10 kali data pengukuran ditunjukkan sebagai berikut :

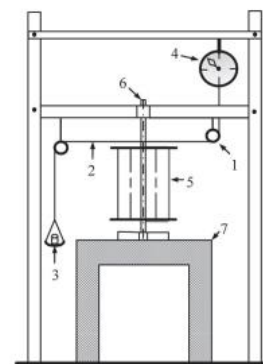
Tabel 3

Kecepatan Aliran Sungai Titik
Pengujian Rata-Rata

No	Panjang Tali (m)	Waktu Tempuh (s)	Kecepatan Aliran (m/s)
1	3	4.1	0.732
2	3	3.8	0.789
3	3	3.9	0.769
4	3	3.8	0.789
5	3	3.8	0.789
6	3	3.8	0.789
7	3	3.6	0.833
8	3	3.8	0.789
9	3	3.4	0.882
10	3	3.5	0.857
RATA-RATA			0.802

Dengan kecepatan aliran sungai di titik pengujian rata-rata 0.802 m/s ini termasuk dalam kategori aliran lambat sehingga sangat cocok untuk aplikasi turbin air jenis sudu Savonius.

Besarnya kecepatan putaran turbin diukur dengan alat ukur tachometer. Pengukuran dilakukan pada masing-masing model turbin. Besarnya nilai torsi menggunakan persamaan $T = (F) \times (r)$



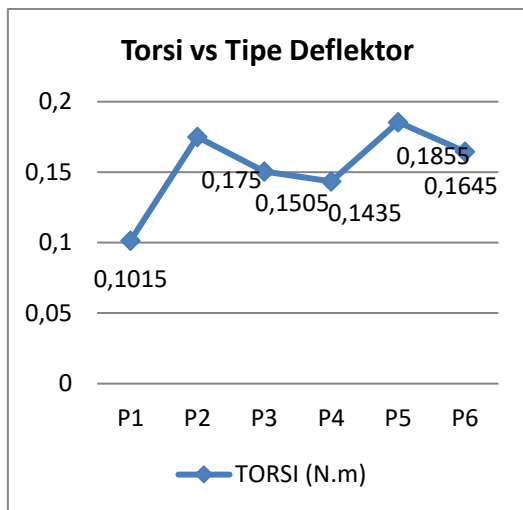
Gambar 5. Skema Penukuran Torsi

Untuk semua model kelengkungan deflektor mempunyai torsi yang bervariasi pada kecepatan putaran turbin yang sama. Untuk percobaan turbin air Savonius tanpa deflektor dengan kecepatan putaran turbin dipertahankan 70 rpm dengan $M_1 = 0.16$ kg, $M_2 = 0.45$ kg dan jari-jari pulli 3.5 cm maka dapat dihitung torsi adalah :

$$F = (0.45 \text{ kg} - 0.16 \text{ kg}) \times 10 \text{ m/s}^2 \\ = 2.9 \text{ N}$$

$$T = 2.9 \text{ N} \times 0.035 \text{ m} \\ = 0.1015 \text{ N.m}$$

Besarnya torsi turbin untuk masing-masing variasi kelengkungan deflektor dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6 grafik torsi dibandingkan dengan tipe deflektor pada putaran turbin dipertahankan 70 rpm. Dari hasil pengujian torsi yang dilakukan pada putaran 70 rpm torsi terkecil didapatkan pada kelengkungan deflektor tipe B dengan kode P4 dengan torsi 0.143 N.m, sedangkan torsi terbesar terjadi pada kelengkungan deflektor tipe D dengan kode P5 dengan torsi 0.1855 N.m

Besarnya kinerja turbin Savonius ditentukan oleh besarnya koefisien tenaga (C_p) dan koefisien torsi (C_t). Untuk percobaan turbin air Savonius tanpa deflektor dengan kecepatan putaran turbin dipertahankan 70 rpm dengan torsi 0.1015 N.m, kecepatan aliran sungai 0.7 m/s maka dapat dihitung dengan langkah-langkah berikut : sudut putaran turbin dihitung dengan persamaan berikut

$$\omega = \frac{2\pi}{60} \times RPM \\ = \frac{2 \times 3.14}{60} \times 70 = 7.3 \text{ rad/s}$$

Daya Turbin dihitung dengan persamaan berikut :

$$P_o = T \cdot \omega \\ = 0.1015 \text{ N.m} \times 7.3 \text{ rad/s} \\ = 0.74 \text{ Watt}$$

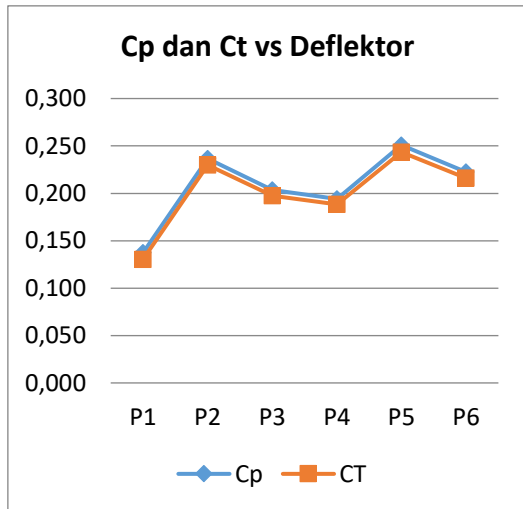
besarnya koefisien tenaga (C_p) dihitung dengan persamaan berikut :

$$C_p = \frac{2P_o}{\rho D H U^3} \\ = \frac{2 \times 0.74 \text{ watt}}{1000 \text{ kg/m}^3 \times 0.092 \text{ m} \times 0.23 \text{ m} \times (0.8 \text{ m/s})^3} \\ = 0.132$$

Koefisien torsi (C_t) dihitung dengan persamaan berikut :

$$C_t = \frac{4T}{\rho D^2 H U^2} \\ = \frac{4 \times 0.1015}{1000 \text{ kg/m}^3 \times (0.23 \text{ m})^2 \times 0.092 \text{ m} \times (0.8 \text{ m/s})^2} \\ = 0.130$$

Besarnya koefisien tenaga (C_p) dan koefisien torsi (C_t) turbin untuk masing-masing variasi kelengkungan deflektor dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Grafik Cp dan Ct vs Deflektor

Gambar 7 grafik Cp dan Ct dibandingkan dengan tipe deflektor pada putaran turbin dipertahankan 70 rpm. Dari hasil perhitungan yang dilakukan nilai Cp dan Ct terkecil didapatkan pada kelengkungan deflektor tipe B dengan kode P4 dengan yaitu berturut-turut 0.194 dan 0.188, sedangkan nilai Cp dan Ct terbesar terjadi pada kelengkungan deflektor tipe C dengan kode P5 dengan torsi Cp dan Ct berturut-turut 0.251 dan 0.244.

Pengaruh Kelengkungan Deflektor

Kinerja turbin Air Savonius diamati dari nilai koefisien tenaga (Cp) dan koefisien torsi (Ct). terhadap variasi kelengkungan deflektor. Gambar 7 grafik Cp dan Ct dapat dikatakan bahwa desain turbin air Savonius tanpa deflektor memiliki koefisien tenaga tidak lebih dari 0.2 ini sesuai dengan penelitian sebelumnya, hal ini terjadi karena geometri dari rotor Savonius yang berbentuk 'S' sehingga pada bagian sudu akan bekerja dua buah Gaya, yaitu sudu yang memberikan Gaya positif dan sudu yang memberikan Gaya negatif (Roy and Saha 2013) dan

(Al-Ghriybah et al. 2019). Selisih dua gaya ini menghasilkan nilai koefisien tenaga (Cp) dan koefisien torsi (Ct). Penambahan deflektor plat datar terbukti dapat meningkatkan nilai koefisien tenaga (Cp) dan koefisien torsi (Ct) ini sesuai dengan penelitian-penelitian sebelumnya seperti yang dilakukan oleh Altan and Atilgan 2010, Tainori Ogawa 1986, Golecha, Eldho, and Prabhu 2011, Kailash, Eldho, and Prabhu 2012 dan Salleh, Kamaruddin, and Mohamed Kassim 2020. Peningkatan koefisien tenaga (Cp) dan koefisien torsi (Ct) pada penelitian ini sebesar 72 persen dibandingkan tanpa deflektor.

Untuk mengkaji lebih jauh tentang penambahan deflektor, maka pada penelitian ini kelengkungan deflektor divariasikan gambar 7 dapat dikatakan bahwa kelengkungan deflektor berpengaruh terhadap nilai koefisien tenaga (Ct) dan koefisien torsi (Ct)

Tabel 7. Peningkatan Koefisien tenaga dan koefisien torsi pada variasi kelengkungan deflektor

KODE	Cp	CT	kenaika %
P3	0.204	0.198	48.276
P4	0.194	0.188	41.379
P5	0.251	0.244	82.759
P6	0.222	0.216	62.069

Pada tabel 7 menunjukan bahwa, terjadi variasi peningkatan nilai Cp dan Ct terhadap kelengkungan deflektor Kelengkungan deflektor dengan kode P4 memiliki nilai Cp dan Ct terendah yaitu berturut-turut 0.198 dan 0.188 sedangkann kelengkungan deflektor

dengan kode P5 memiliki nilai C_p dan C_t tertinggi yaitu 0.251 dan 0.244. kelengkungan deflektor dengan kode P5 dapat menaikkan nilai C_p dan C_t sebesar 82 persen dibandingkan dengan turbin tanpa deflektor.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan terhadap pengaruh kelengkungan deflektor dapat disimpulkan bahwa :

1. Kelengkungan deflektor berpengaruh terhadap kinerja turbin yang diamati dari besarnya nilai koefisien tenaga (C_p) dan koefisien torsi (C_t)
2. Kelengkungan deflektor dengan kode P4 memiliki nilai C_p dan C_t terendah yaitu berturut-turut 0.198 dan 0.188 sedangkan kelengkungan deflektor dengan kode P5 memiliki nilai C_p dan C_t tertinggi yaitu 0.251 dan 0.244. kelengkungan deflektor dengan kode P5 dapat menaikkan nilai C_p dan C_t sebesar 82 persen dibandingkan dengan turbin tanpa deflektor.

REFERENSI

- [1] Ahmed, Noor A., and Michael Cameron. 2014. "The Challenges and Possible Solutions of Horizontal Axis Wind Turbines as a Clean Energy Solution for the Future." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 38: 439–60. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.06.004>.
- [2] Al-Ghriybah, Mohanad, Mohd Fadhli Zulkafli, Djamal Hissein Didane, and Sofian Mohd. 2019. "The Effect of Inner Blade Position on the Performance of the Savonius Rotor." *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 36(August).
- [3] Alexander, A. J., and B. P. Holownia. 1978. "Wind Tunnel Tests on a Savonius Rotor." *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 3(4): 343–51.
- [4] Alom, Nur, and Ujjwal K. Saha. 2019. "Influence of Blade Profiles on Savonius Rotor Performance: Numerical Simulation and Experimental Validation." *Energy Conversion and Management* 186(October 2018): 267–77.
- [5] Altan, Burçin Deda, and Mehmet Atilgan. 2010. "The Use of a Curtain Design to Increase the Performance Level of a Savonius Wind Rotors." *Renewable Energy* 35(4): 821–29.
- [6] Behrouzi, Fatemeh, Mehdi Nakisa, Adi Maimun, and Yasser M. Ahmed. 2016. "Renewable Energy Potential in Malaysia: Hydrokinetic River/Marine Technology." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 62: 1270–81. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.020>.
- [7] Benedicto, M R A, J N L Lajoy, A S Mendoza, and ... 2012. "Application of Savonius Rotor in a Low Head Hydroelectric System." *Mapua Institute of ...* (November). [http://fs.mapua.edu.ph/MapuaLibrary/Thesis/Application of Savonius Rotor in a Low Head Hydroelectric System.pdf](http://fs.mapua.edu.ph/MapuaLibrary/Thesis/Application%20of%20Savonius%20Rotor%20in%20a%20Low%20Head%20Hydroelectric%20System.pdf).
- [8] Chen, T. Y., Y. T. Liao, and C. C. Cheng. 2012. "Development of Small Wind Turbines for Moving Vehicles: Effects of Flanged Diffusers on Rotor Performance." *Experimental Thermal and Fluid Science* 42: 136–42. <http://dx.doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2012.05.001>.
- [9] Golecha, Kailash, T. I. Eldho, and S. V. Prabhu. 2011. "Influence of the Deflector Plate on the Performance

- of Modified Savonius Water Turbine.” *Applied Energy* 88(9): 3207–17.
- [10] <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.03.025>.
- [11] Khan, Nahidul, and Nalcor Energy. 2009. “Performance of Savonius Rotor as a Water Current Turbine.” (April 2016).
- [12] Mabrouki, Ibrahim, Zied Driss, and Mohamed Salah Abid. 2014. “Experimental Investigation of the Height Effect of Water Savonius Rotors.” 4(1): 8–12.
- [13] Manganhar, Abdul Latif et al. 2019. “Performance Analysis of a Savonius Vertical Axis Wind Turbine Integrated with Wind Accelerating and Guiding Rotor House.” *Renewable Energy* 136: 512–20.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.12.124>.
- [14] Moghimi, Mahdi, and Hadi Motawej. 2020. “Developed DMST Model for Performance Analysis and Parametric Evaluation of Gorlov Vertical Axis Wind Turbines.” *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 37(October 2019): 100616.
<https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.100616>.
- [15] Mohamed, M. H., G. Janiga, E. Pap, and D. Thèvenin. 2010. “Optimization of Savonius Turbines Using an Obstacle Shielding the Returning Blade.” *Renewable Energy* 35(11): 2618–26.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2010.04.007>.
- [16] Ogawa, T., H. Yoshida, and Y. Yokota. 1989. “Development of Rotational Speed Control Systems for a Savonius-Type Wind Turbine.” *Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME* 111(1): 53–58.
- [17] Ogawa, Tainori. 1986. “The Effect Of A Deflecting Plate and Rotor End Plates On Performances Of Savonius Type Win Turbine.” *JSME* 29(253): 2115–21.
<http://www.mendeley.com/research/geology-volcanic-history-eruptive-style-yakedake-volcano-group-central-japan/>.
- [18] Ostos, Iván et al. 2019. “A Modified Novel Blade Configuration Proposal for a More Efficient VAWT Using CFD Tools.” *Energy Conversion and Management* 180(November 2018): 733–46.
- [19] Pan, Hongye et al. 2019. “A Portable Renewable Wind Energy Harvesting System Integrated S-Rotor and H-Rotor for Self-Powered Applications in High-Speed Railway Tunnels.” *Energy Conversion and Management* 196(May): 56–68.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.05.115>.
- [20] Prabhukhot, Prachi R., and Aditya R. Prabhukhot. 2017. “Computer Analysis of S822 Aerofoil Section for Blades of Small Wind Turbines at Low Wind Speed.” *Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME* 139(5): 1–5.
- [21] Roy, Sukanta, and Ujjwal K. Saha. 2013. “Review on the Numerical Investigations into the Design and Development of Savonius Wind Rotors.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 24: 73–83.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.060>.
- [22] Saha, U. K., S. Thotla, and D. Maity. 2008. “Optimum Design Configuration of Savonius Rotor through Wind Tunnel Experiments.” *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 96(8–9): 1359–75.
- [23] Sarkar, Jahar, and Souvik Bhattacharyya. 2012. “Application

- of Graphene and Graphene-Based Materials in Clean Energy-Related Devices Minghui.” *Archives of Thermodynamics* 33(4): 23–40.
- [24] Sarma, N. K., A. Biswas, and R. D. Misra. 2014. “Experimental and Computational Evaluation of Savonius Hydrokinetic Turbine for Low Velocity Condition with Comparison to Savonius Wind Turbine at the Same Input Power.” *Energy Conversion and Management* 83: 88–98. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2014.03.070>.
- [25] Tian, Wenlong, Zhaoyong Mao, and Hao Ding. 2019. “Numerical Study of a Passive-Pitch Shield for the Efficiency Improvement of Vertical Axis Wind Turbines.” *Energy Conversion and Management* 183(October 2018): 732–45. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.01.006>.
- [26] Vermaak, Herman Jacobus, Kanzumba Kusakana, and Sandile Philip Koko. 2014. “Status of Micro-Hydrokinetic River Technology in Rural Applications: A Review of Literature.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 29: 625–33. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.066>.
- [27] Wahyudi, B, S Soeparman, and H W M Hoeijmakers. 2013. “Optimization Design of Tandem Blade Rotor of New Savonius Hydrokinetics Turbine Model 11.6 Optimization Design of Tandem Blade Rotor of New Savonius Hydrokinetics Turbine Model.” (Type I): 365–69.
- [28] Yah, Nor F., Ahmed N. Oumer, and Mat S. Idris. 2017. “Small Scale Hydro-Power as a Source of Renewable Energy in Malaysia: A Review.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 72(October 2016): 228–39. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.068>.
- [29] Rendi, Rendi, et al. "Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Air Mikrohidro di Sungai Pintab dan Sungai Amandit Kalimantan Selatan." *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material* 4.2 (2020): 46-52.
- [30] Rendi, Rendi, Sobar Ihsan, and Syamsul Ma'arif. "Turbin Air Arus Sungai Model Sudu Propeller Menggunakan Nozzel-Diffuser." *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material* 4.1 (2020): 27-33.
- [31] Rendi, Rendi, and Firda Herlina. "Penambahan Lingkaran Pelindung Pada Turbin Air Rotor Savonius." *INFO-TEKNIK* 20.2 (2019): 237-254.
- [32] Arifin, Jainal. "Desain Diffuser Turbin Air Arus Sungai untuk Meningkatkan Laju Arus Sungai." *AL-JAZARI JURNAL ILMIAH TEKNIK MESIN* 4.2 (2019).
- [33] Rendi, Rendi, and Abdurrahim Sidiq. "Pengaruh Twist Angle Blade Turbin Savonius Berpengaruh Aliran Aplikasi Pada Turbin Air." *INFO-TEKNIK* 19.2 (2018): 203-210.
- [34] Hatradi, Budi, Muhammad Irfansyah, and Puteri Puteri. "Desain Underwater Rotor Untuk Memanfaatkan Laju Aliran Sungai Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air." *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material* 5.2 (2021): 77-82.
- [35] Rendi, Rendi. "Analisa Distribusi Tekanan dan Aliran Disekitar Rotor Savonius Water Turbine." *AL-JAZARI JURNAL ILMIAH TEKNIK MESIN* 2.1