JURNAL TEKNIK
Volume 19, No. 1, Juni 2021
P-ISSN : 1693-6191 E-ISSN : 2715-7660 DOI : https://doi.org/10.37031/jt.v19i1.145

Studi Eksperimental Sistem Pengarah Aliran Pada Turbin Hidrokinetik Archimedes Spiral

[1]Adri Pratama, [2]Dwi Anung Nindito, [3]Raden Haryo Saputra

[1,2,3] Prodi Teknik Sipil Universitas Pangkaraya
Kampus UPR Tanjung Nyaho Jalan Yos Sudarso Kotak Pos 2/PLKUP Palangka Raya 73112 Kalimantan Tengah-INDONESIA Telepon/Fax: +62 536-3226487 :
e-mail: : dwi_anungnindito@eng.upr.ac.id

Abstrak

Perubahan arah aliran akibat gaya *drag* dan gaya *lift* yang mengenai turbin hidrokinetik *Archimedes Spiral* menjadi sebuah permasalahan yang dapat mempengaruhi performa turbin, sehingga perlu ditambahkan sistem pengarah aliran. Studi ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan sistem pengarah aliran berupa *truncated cone* dan ekor pengarah terhadap performa turbin *Archimedes Spiral*. Metode yang digunakan berupa uji eksperimental terhadap performa turbin menggunakan beberapa variasi kecepatan aliran di saluran terbuka. Hasil studi menunjukkan bahwa turbin *Archimedes Spiral* dengan sistem pengarah aliran menghasilkan nilai C_p sebesar 0,19–0,22 dan nilai *TSR* antara 1,76–1,85. Nilai torsi yang diperoleh berkisar antara 0,013–0,017 Nm pada rentang nilai *RPM* sebesar 28,64–33,60. Penambahan *truncated cone* mampu memperbesar gaya tangkap aliran. Penambahan ekor pengarah mampu meneruskan aliran vorteks memanjang ke bagian hilir turbin. Aliran vorteks yang diteruskan tersebut menghambat rotasi bilah turbin dan mengakibatkan gaya tekan pada turbin membesar. Gaya tekan pada bilah yang membesar menyebabkan nilai torsi meningkat. Meningkatnya torsi membuat konsep gaya *drag* yang digunakan turbin *Archimedes Spiral* dengan penambahan sistem pengarah aliran menjadi lebih tinggi dari pada konsep gaya *lift*. Penambahan *truncated cone* dan ekor pengarah berdampak meningkatnya performa turbin *Archimedes Spiral.*

Kata kunci: *Archimedes Spiral; truncated cone;* ekor pengarah; turbin hidrokinetik.

Abstract

Changes in flow direction due to drag and lift forces that hit the Archimedes Spiral hydrokinetic turbine is a problem that could affect turbine performance, hence, it is important to add a flow steering system. This study aims to determine the effect of adding a flow guide system in the form of a truncated cone and tail guide on the performance of the Archimedes Spiral turbine. The method used is experimental tests on turbine performance using several variations of flow velocity in open channels. The results of the study show that the Archimedes Spiral turbine with a flow guide system produces a C_p value of 0.19–0.22 and a TSR value of 1.76–1.85. The torque value obtained is in the range of 0.013–0.017 Nm within the range of 28.64–33.60 RPM. The addition of a truncated cone was able to increase the flow capture force. The addition of a guide tail could forward the vortex flow lengthwise to the downstream of the turbine. The forwarded vortex flow inhibits the rotation of the turbine blades and causes the compressive force on the turbine to increase. The increased compression force on the blade caused the torque value to increase. In the Archimedes Spiral turbine with the addition of a flow steering system, the increased torque caused the concept drag force to be higher than the concept of lift force. The addition of a truncated cone and guide tail increased the performance of the Archimedes Spiral turbine.

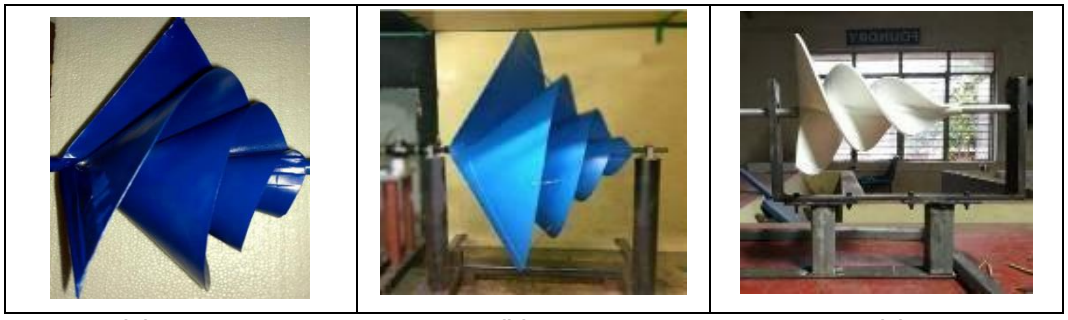
Keywords: *Archimedes Spiral; truncated cone; guide tail; hydrokinetic turbine.*

Diterima: 28 Februari 2021
Disetujui: 23 Juni 2021
Dipublikasi: 30 Juni 2021

©2021 Adri Pratama, Dwi Anung Nindito, Raden Haryo Saputra
Under the license CC BY-SA 4.0

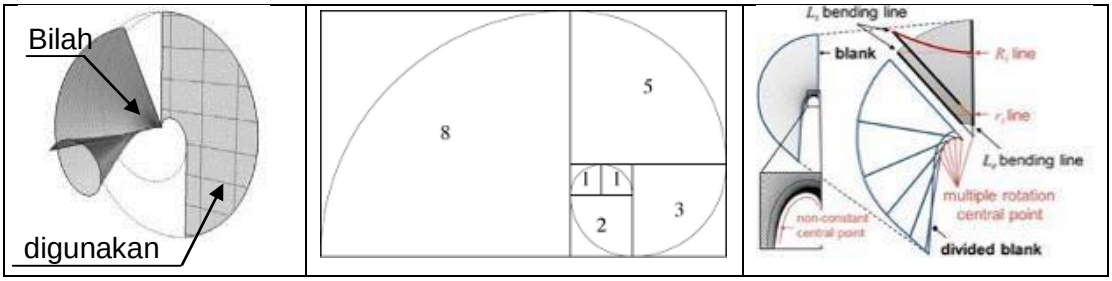
Pendahuluan

Turbin hidrokinetik merupakan teknologi konversi energi kinetik yang dapat mengurangi penggunaan energi konvensional (Kholiq, 2015) dan meminimalkan kerusakan ekosistem (Rat, Prostean, & Filip, 2018). Turbin hidrokinetik merupakan jenis turbin *low head* (Verma & Katkade, 2018) yang memiliki dua jenis sumbu putar yaitu vertikal dan horizontal (Khan et al., 2009). Turbin *Archimedes Spiral* merupakan salah satu turbin hidrokinetik yang menggunakan sumbu horizontal dan memiliki tiga bilah melingkar (Rao et al., 2018) saling terhubung dengan membentuk sudut 120° (Gambar 1). Turbin *Archimedes Spiral* menggunakan gaya *lift* dan gaya *drag* saat beroperasi pada kecepatan rendah dan menjadi pilihan tepat sebagai konversi energi kinetik di aliran sungai (Rat et al. 2018). Bilah turbin *Archimedes Spiral* dapat dibentuk secara spasial (Gambar 2a), dengan menghubungkan garis spiral dari sudut yang berlawanan pada kotak *Fibonacci* (Gambar 2b) atau membagi menjadi enam ruas dengan bentuk dan ukuran yang berbeda pada setiap ruas (Gambar 2c).



(a) (b) (c)

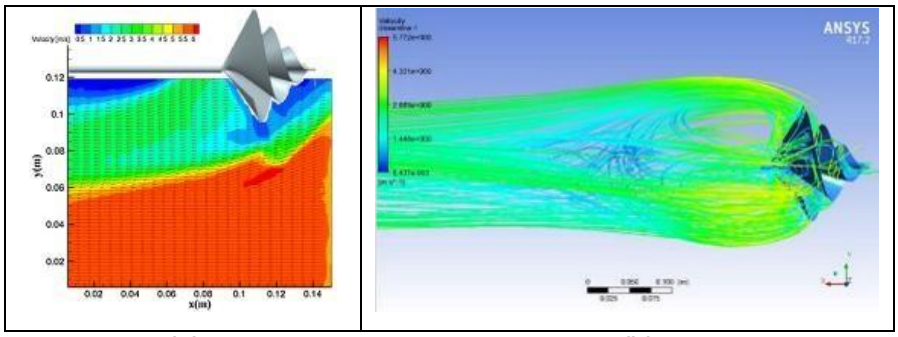
Gambar 1. Desain turbin *Archimedes Spiral* studi terdahulu: (a) Patil (2018) (b) Ji et al. (2016a) dan (c) Rakesh et al. (2019)



(a) (b) (c)

Gambar 2. Bentuk bilah turbin *Archimedes Spiral* menurut : (a) Mieremet (2014) (b) Patil (2018) dan (c) Yang et al. (2017)

Bertambahnya sudut serang (θ) yang diterima turbin *Archimedes Spiral* saat berputar mengakibatkan permasalahan, yaitu kecepatan putar bilah turbin menjadi berkurang sehingga dapat menurunkan performa turbin (Ji et al. 2016b). Gambar 3 menunjukkan bahwa kecepatan aliran pada ujung bilah lebih besar dibandingkan bagian tengah dan belakang bilah turbin (Ebrahimi & Ghassemi 2018).



(a) (b)

Gambar 3. Hasil CFD (*Computational Fluid Dynamics*): (a) Ji et al. (2016b) dan (b) Ebrahimi & Ghassemi (2018)

Tabel 1. Hasil studi terdahulu tentang performa turbin *Archimedes Spiral*

Peneliti	Metode	Studi yang dilakukan	Hasil studi Turbin *Archimedes Spiral*
(Ebrahimi & Ghassemi, 2018)	Eksperimental dan simulasi numerik	Analisis numerik dinamis pada turbin *Archimedes Spiral*	Menggunakan 3 bilah turbin berdiameter 150 mm dan diperoleh nilai C_p=0,26 dengan *TSR*=2,5.
(Jang et al., 2019)	Eksperimental	Performa turbin *Archimedes Spiral*	*Coefficient of power* (C_p) maksimum sekitar 0,293 pada nilai *TSR*=2,19.
(Ji et al., 2016a)	Eksperimental	Karakteristik aerodinamis turbin *Archimedes Spiral*	*Coefficient of power* (C_p) untuk kecepatan sudut 12,44 rad/s mendekati nilai 0,44 pada *TSR*=1,87 dan *RPM* yang dihasilkan 118,84.
(Kim et al., 2013)	Eksperimental dan numerik	Karakteristik aerodinamis turbin *Archimedes Spiral* di perkotaan	*Coefficient of power* (C_p) maksimum sekitar 0,25 dengan nilai *Tip Speed Ratio* (*TSR*)=2,5.

Energi Kinetik *(EK)* yang dihasilkan turbin (Ebrahimi & Ghassemi, 2018: 13) :

$$EK = 0{,}5.\rho.A.v^3 \quad \text{.....} \quad (1)$$

Di mana ρ adalah masa jenis air (kg/m^3), A adalah luas penampang turbin (m^2) dan v adalah kecepatan aliran (m/s). *Coefficient of power* (C_p) (Ebrahimi & Ghassemi, 2018: 13):

$$C_p = \frac{\tau.\omega}{0{,}5.\rho.A.v^3} \quad \text{.....} \quad (2)$$

Di mana τ adalah torsi (Nm) dan ω adalah kecepatan sudut (rad/s). *Tip speed ratio* (λ) (Abbasi, Ghassemi, & Molyneux, 2018: 238) :

$$TSR = \lambda = \frac{\omega R}{v} \quad \text{.....} \quad (3)$$

Di mana R merupakan jari-jari turbin. Kecepatan sudut (Cao, 2011: 7) :

$$\omega = \frac{2.\pi.n}{60} \quad \text{.....} \quad (4)$$

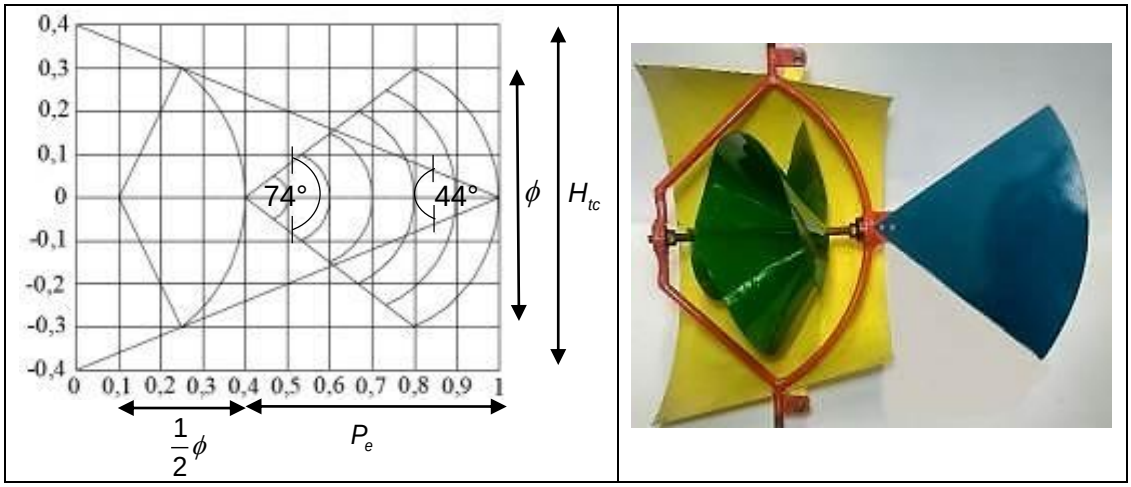
Performa turbin hidrokinetik dapat ditingkatkan dengan menambahkan *pair* sebagai bidang tangkap turbin (Antomo, Nindito, & Kamiana, 2020), modifikasi bentuk

bilah turbin berdasarkan bentuk profil distribusi kecepatan aliran (Nindito, Istiarto, & Kironoto, 2008) seperti turbin *Spinning Top Darrieus* (Wardani, Nindito, & Jaya, 2020) dan turbin Tornado Savonius (Yudistira, Nindito, & Saputra, 2021), serta penambahan pengarah *Omni Directional Guide Vanes* (Octauria, Nindito, & Saputra, 2021). Turbin *Archimedes Spiral* lebih efektif ketika dipasang tegak lurus menghadap arah aliran (Shivanegara et al., 2017). Jika arah aliran berubah, maka sudut serangnya berubah dan performa turbin akan menurun, sehingga diperlukan sistem pengarah aliran. Studi kali ini bertujuan meningkatkan performa turbin hidrokinetik *Archimedes Spiral* dengan melakukan uji eksperimental penambahan sistem pengarah aliran.

Metode

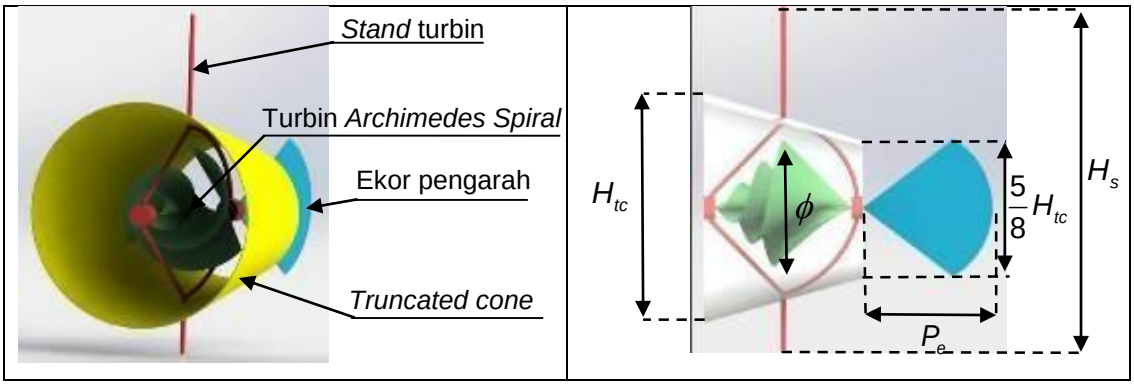
Sistem pengarah aliran pada pengujian terdiri dari *truncated cone* dan ekor pengarah dengan tujuan untuk menangkap aliran yang diarahkan ke seluruh bagian turbin dan dapat menyesuaikan dengan arah datangnya aliran. Bentuk turbin *Archimedes Spiral* beserta *truncated cone* dan ekor pengarah dibuat berdasarkan kriteria desain (Gambar 4 dan Gambar 5) dengan parameter komponen seperti Tabel 2.

1. Kriteria Desain



(a) (b)

Gambar 4. (a) Kriteria desain sistem pengarah aliran turbin *Archimedes Spiral* dan (b) hasil prototipe turbin *Archimedes Spiral* yang dilengkapi sistem pengarah aliran



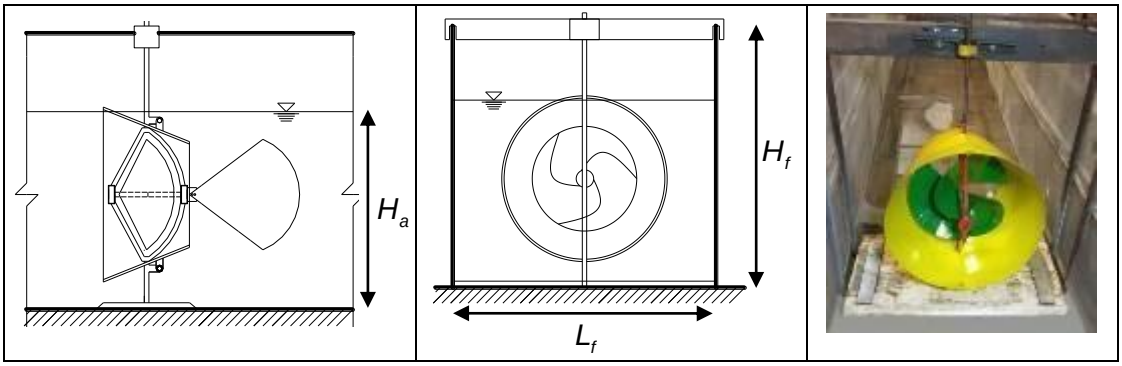
Gambar 5. Desain komponen turbin *Archimedes Spiral*

Tabel 2. Parameter komponen turbin *Archimedes Spiral*

Parameter	Nilai	Satuan
Diameter turbin (ϕ)	0,24	m
Tinggi *stand* (H_s)	0,63	m
Tinggi *truncated cone* (H_{tc})	0,38	m
Panjang ekor pengarah (P_e)	0,24	m
Jumlah bilah	3	buah

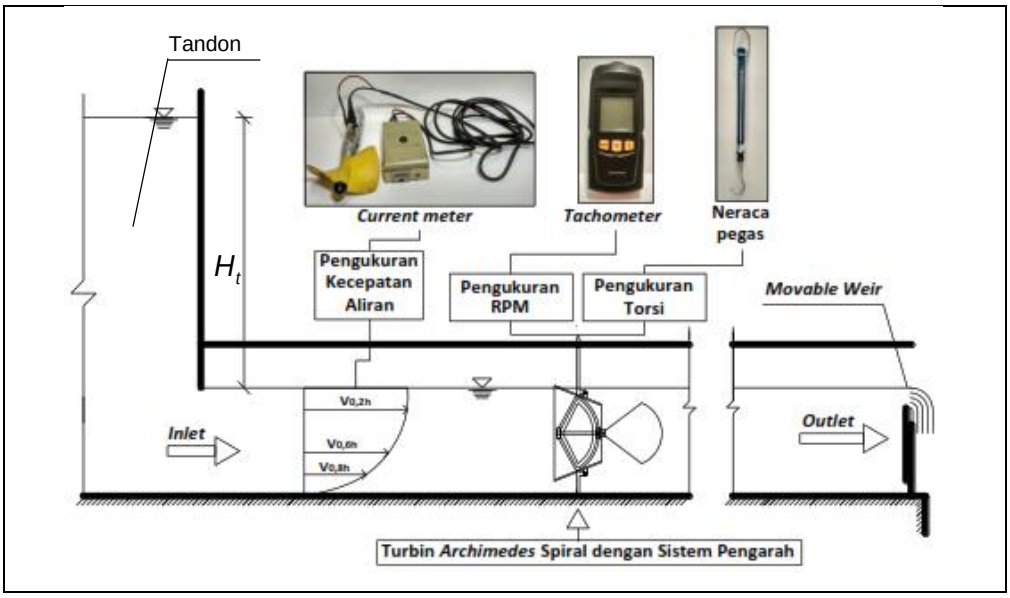
2. Metode Pengujian

Turbin *Archimedes Spiral* diujikan pada saluran terbuka prismatik *(flume)* dengan ukuran dimensi tinggi H_f = 0,6m dan lebar L_f = 0,6m, serta kedalaman aliran H_a = 0,43m.



(a) (b) (c)

Gambar 6. (a) Tata letak tampak samping (b) tampak depan dan (c) tata letak pengujian turbin hidrokinetik di saluran *flume*

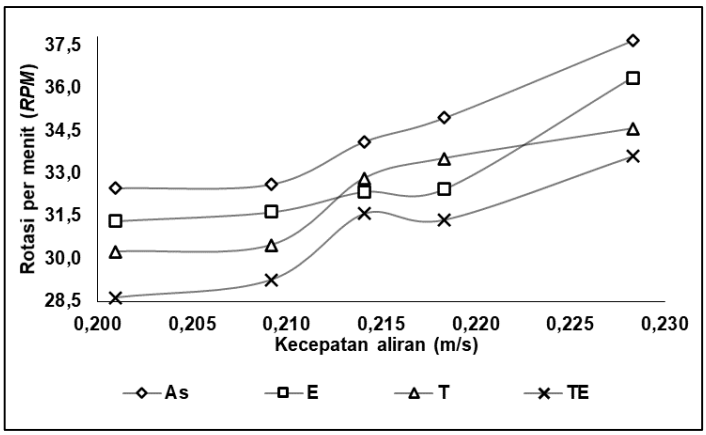


Gambar 7. Skema pengujian sistem pengarah aliran pada turbin *Archimedes Spiral*

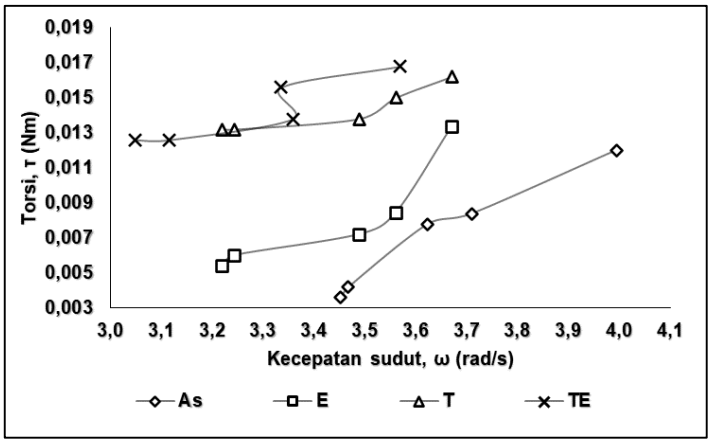
Berdasarkan Gambar 7, beda tinggi (H_t) antara elevasi air di tandon dengan elevasi permukaan air di saluran *flume* menyebabkan beda tekanan air yang menghasilkan variasi kecepatan aliran yang digunakan untuk memutar turbin. *Movable weir* yang terletak di bagian *outlet* saluran berfungsi untuk mempertahankan tinggi elevasi muka air sehingga tipe alirannya *steady flow*. Pengukuran RPM menggunakan alat *tachometer* seri GM8905. Hasil pengukuran gaya (N) pada pengamatan neraca pegas dikalikan dengan panjang lengan gaya (m) menghasilkan nilai torsi. Kecepatan aliran diukur menggunakan *current meter* tipe SEBA-*Universal Current meter* F1.

Hasil

Uji eksperimental dilakukan dengan 5 (lima) variasi kecepatan aliran, yaitu 0,201 m/s; 0,209 m/s; 0,214 m/s; 0,218 m/s; dan 0,228 m/s.



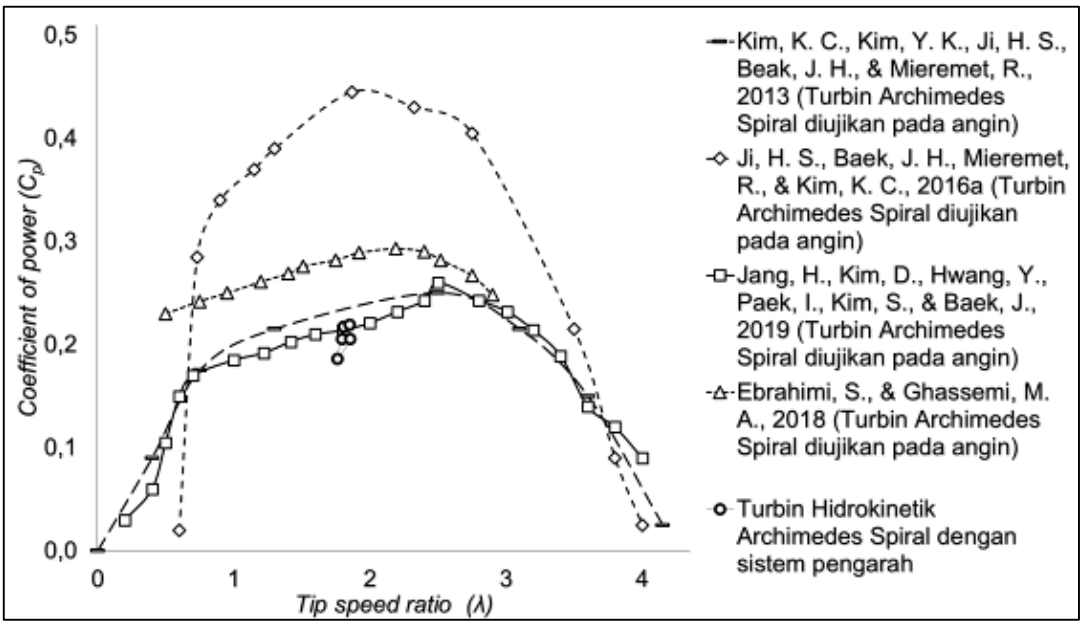
Gambar 8. Grafik hubungan kecepatan aliran (m/s) terhadap Rotasi Per Menit



Gambar 9. Grafik hubungan kecepatan sudut (rad/s) terhadap torsi (Nm)

Tabel 3. Perbandingan performa turbin pada pengujian turbin *Archimedes Spiral* akibat penambahan sistem pengarah aliran

Simbol Turbin *Archimedes* Spiral	Penambahan sistem pengarah aliran		Hasil Pengujian				
	Truncated cone	Ekor pengarah	*RPM*	Torsi (Nm)	Kec. sudut (rad/s)	C_p	*TSR*
As	Tidak	Tidak	32,48–37,66	0,004–0,012	3,40–3,94	0,07–0,18	1,96–2,07
T	Ya	Tidak	30,26–34,57	0,013–0,016	3,17–3,62	0,20–0,23	1,83–1,93
E	Tidak	Ya	31,33–36,36	0,005–0,013	3,17–3,62	0,10–0,19	1,87–2,00
TE	Ya	Ya	28,64–33,60	0,013–0,017	3,00–3,52	0,19–0,22	1,76–1,85



Gambar 10. Grafik *Coefficient of power* (C_p) dan *Tip Speed Ratio* (*TSR*) turbin *Archimedes Spiral* TE terhadap studi turbin *Archimedes Spiral* terdahulu

Pembahasan

Berdasarkan Gambar 8, peningkatan nilai *RPM* terjadi seiring dengan bertambahnya kecepatan aliran. Turbin *Archimedes Spiral* As (tanpa sistem pengarah aliran) menghasilkan nilai *RPM* lebih tinggi dari pada menggunakan sistem pengarah. Turbin *Archimedes Spiral* TE (dengan *truncated cone* dan ekor pengarah) menghasilkan nilai *RPM* yang paling kecil dibandingkan variasi sistem pengarah lainnya. Penambahan *truncated cone* dan ekor pengarah menyebabkan aliran vorteks yang terjadi pada bagian belakang turbin menghambat putaran turbin.

Berdasarkan Gambar 9 dan rekapitulasi data nilai torsi serta kecepatan sudut pada Tabel 3 diperoleh bahwa, turbin *Archimedes Spiral* T (dengan *truncated cone*) dan turbin *Archimedes Spiral* E (dengan ekor pengarah) menghasilkan kecepatan sudut yang sama, akan tetapi torsi yang dihasilkan turbin *Archimedes Spiral* T (dengan *truncated cone*) lebih tinggi. Rotasi bilah yang terhambat menyebabkan tekanan pada turbin lebih besar sehingga torsi yang dihasilkan meningkat. Aliran air yang melewati badan turbin saat berotasi menghasilkan arah aliran menuju sisi luar turbin dan pada bagian belakang turbin terjadi aliran vorteks. Sistem pengarah aliran (*truncated cone*) mampu mengarahkan aliran air menuju ke seluruh bagian turbin. Hal ini mengakibatkan gaya aliran yang diterima turbin lebih besar dan menghasilkan nilai torsi yang tinggi, akan tetapi menyebabkan hambatan pada saat turbin berotasi (berkurangnya *RPM*).

Gambar 10 menunjukkan perbandingan performa turbin *Archimedes Spiral* studi kali ini dengan studi terdahulu. Performa turbin *Archimedes Spiral* dapat ditunjukkan melalui perbandingan C_p dan *TSR.* Nilai *Coefficient of Power* (C_p) yang dihasilkan studi ini (0,19-0,22) mendekati nilai optimum *Cp* di studi Kim et al. (2013). Penambahan sistem pengarah aliran menyebabkan torsi yang dihasilkan lebih tinggi sehingga mengakibatkan nilai C_p meningkat. Nilai C_p berbanding lurus terhadap torsi, sehingga semakin besar torsi yang dihasilkan menyebabkan C_p juga meningkat. Energi yang dihasilkan dipengaruhi oleh luas bidang tangkap (*A*) yang memusat ke badan turbin akibat penambahan *truncated cone*. Semakin besar luas bidang tangkap turbin, maka semakin banyak energi kinetik yang dapat dihasilkan turbin *Archimedes Spiral*.

Turbin *Archimedes Spiral* dengan sistem pengarah (*truncated cone* dan ekor pengarah) menghasilkan *Tip Speed Ratio* (*TSR*) lebih kecil dibandingkan variasi turbin *Archimedes Spiral* lainnya. *TSR* dipengaruhi oleh jumlah rotasi per menit (RPM). Semakin kecil *RPM* yang dihasilkan maka *TSR* yang diperoleh juga semakin kecil. *TSR* yang dihasilkan sekitar 1,76–1,85 dengan *RPM* dan kecepatan sudut masing-masing 28,64–33,60 dan 3,00–3,52 rad/s. Turbin *Archimedes Spiral* yang diujicobakan di air memiliki performa yang hampir sama dengan turbin *Archimedes Spiral* yang

diujicobakan di angin pada studi Kim et al. (2013), Jang et al. (2019), dan Ebrahimi & Ghassemi (2018). Perbedaan nilai Cp dan TSR yang terjadi pada studi Ji et al. (2016a) dan studi saat ini dikarenakan perbedaan jenis aliran fluida yang digunakan (massa jenisnya berbeda) dan interval pengujian kecepatan yang berbeda.

Kesimpulan

Penambahan sistem pengarah aliran (*truncated cone*) membuat gaya tangkap aliran turbin membesar. Hal ini menyebabkan gaya tekan pada bilah juga membesar sehingga torsi yang dihasilkan meningkat. Sistem pengarah aliran (ekor pengarah) meneruskan aliran vorteks di bagian belakang turbin memanjang ke bagian hilir turbin dan mengakibatkan rotasi turbin terhambat. Terhambatnya rotasi bilah turbin mengakibatkan tekanan pada turbin lebih besar dan torsi yang dihasilkan meningkat. Dengan meningkatnya torsi yang dihasilkan turbin *Archimedes Spiral* dengan sistem pengarah aliran membuat konsep gaya *drag* yang digunakan lebih tinggi dari pada konsep gaya *lift*.

Saran

Uji eksperimental tentang perbandingan ukuran turbin dengan ukuran *truncated cone* terhadap performa turbin *Archimedes Spiral* menarik dijadikan studi berikutnya.

Daftar Pustaka

Abbasi, A., Ghassemi, H., & Molyneux, D. (2018). Numerical Analysis of the Hydrodynamic Performance of HATST with Different Blade Geometries. *American Journal of Civil Engineering and Architecture*, *6*(November), 1–5.

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.

Cao, H. (2011). *Aerodynamics Analysis of Small Horizontal Axis Wind Turbine Blades by Using 2D and 3D CFD Modelling* (May 2011, p. 82).

Ebrahimi, S., & Ghassemi, M. A. (2018). Numerical Aerodynamics Analysis of the Archimedes Screw Wind Turbine. *International Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering*, *9*(10), 12–15.

Jang, H., Kim, D., Hwang, Y., Paek, I., Kim, S., & Baek, J. (2019). Analysis of Archimedes Spiral Wind Turbine Performance By Simulation and Field Test. *Energies*, *12*(24).

Ji, H. S., Baek, J. H., Mieremet, R., & Kim, K. C. (2016a). The Aerodynamic Performance Study on Small Wind Turbine with 500W Class through Wind Tunnel

Experiments. *International Journal of Renewable Energy Sources*, *1*, 7–12.

Ji, H. S., Qiang, L., Beak, J. H., Mieremet, R., & Kim, K. C. (2016b). Effect of the Wind Direction on the Near Wake Structures of an Archimedes Spiral Wind Turbine Blade. *Journal of Visualization*, *19*(4), 653–665.

Khan, M. J., Bhuyan, G., Iqbal, M. T., & Quaicoe, J. E. (2009). Hydrokinetic Energy Conversion Systems and Assessment of Horizontal and Vertical Axis Turbines for River and Tidal Applications: A Technology Status Review. *Applied Energy*, *86*(10), 1823–1835.

Kholiq, I. (2015). Pemanfaatan Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan Untuk Mendukung Subtitusi BBM. *Jurnal IPTEK*, *19*(2), 75–91.

Kim, K. C., Kim, Y. K., Ji, H. S., Beak, J. H., & Mieremet, R. (2013). Aerodynamic Characteristics of Horizontal Axis Wind Turbine with Archimedes Spiral Blade. *Proceedings of the ASME 2013 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, 1–6.

Mieremet, R. (2014). The Aerodynamic Method of the Archimedes Windturbine. *POWER Solutions*, 1–9.

Nindito, D. A., Istiarto, & Kironoto, B. A. (2008). Simulasi Numeris Tiga Dimensi Kantong Lumpur Bendung Sapon. *Journal of the Civil Engineering Forum*, *18*(1), 712–724.

Octauria, E. P., Nindito, D. A., & Saputra, R. H. (2021). Uji Eksperimental Pengaruh Sudut Omni Directional Guide Vanes Terhadap Performa Turbin Hidrokinetik Darrieus. *EKSERGI Jurnal Teknik Energi*, *17*(2), 95–108. http://dx.doi.org/10.32497/eksergi.v17i2.2581

Patil, Y. (2018). Design, Fabrication and Analysis of Fibonacci Spiral Horizontal Axis Wind Turbine. *International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering*, *5*(2), 19–22.

Rakesh, B., Rao, S. S., Kiran, C. Y. V, Anand, M., & Duryodhana, D. (2019). Design , Fabrication and Experimental Analysis of Archimedes Spiral Wind Turbine. *International Journal of Innovative Research InTechnology (IJIRT)*, *5*(11), 304–310.

Rao, S., Shanmukesh, K., Naidu, M. K., & Praveen Kalla. (2018). Design and Analysis of Archimedes Aero-Foil Wind Turbine Blade for Light and Moderate Wind Speeds. *International Journal on Recent Technologies in Mechanical and Electrical Engineering (IJRMEE)*, *5*(8), 1–5.

Rat, C. L., Prostean, O., & Filip, I. (2018). Hardware-in-the-Loop Emulator for a Hydrokinetic Turbine. *IOP Conference Series: Materials Science and*

Engineering, *294*(1), 11.

Rat, C. L., Prostean, O., Filip, I., & Vasar, C. (2018). The Modeling and Simulation of an Archimedes Spiral Turbine for use in a Hydrokinetic Energy Conversion System. *2018 IEEE 22nd International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES)*, 245–248.

Shivanegara, S. D., Vernekar, K. K., Rathod, K., Ravikumar, C., & Y, D. R. P. (2017). Design, Fabrication and Aerodynamic Analysis of a Modified Archimedes Wind Turbine. *Issue VI*, *598*(May), 2321–9653.

Verma, D. R., & Katkade, P. S. D. (2018). Horizontal Axis Water Turbine : Generation and Optimization of Green Energy. *International Journal of Applied Engineering Research*, *13*(5), 9–14.

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.

Yang, S. M., Ji, H. S., Shim, D. S., Baek, J. H., & Park, S. H. (2017). Conical Roll-Twist-Bending Process for Fabrication of Metallic Archimedes Spiral Blade Used in Small Wind Power Generator. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology*, *4*(4), 431–439.

Yudistira, R., Nindito, D. A., & Saputra, R. H. (2021). Kinerja Turbin Hidrokinetik Tornado Savonius. *Jurnal Teknika: Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Keteknikan*, *4*(2), 181–186. http://dx.doi.org/10.52868/jt.v4i2.2732