



EKSERGI Jurnal Teknik Energi Vol.17 No.2 Mei 2021; 95-108

UJI EKSPERIMENTAL PENGARUH SUDUT *OMNI DIRECTIONAL GUIDE VANES* TERHADAP PERFORMA TURBIN HIDROKINETIK DARRIEUS

Emilia Putri Octauria, Dwi Anung Nindito*, Raden Haryo Saputra

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya
Kampus UPR Tanjung Nyaho Jalan Yos Sudarso, Palangka Raya, 73112

*E-mail: dwi_anungnindito@eng.upr.ac.id

Abstrak

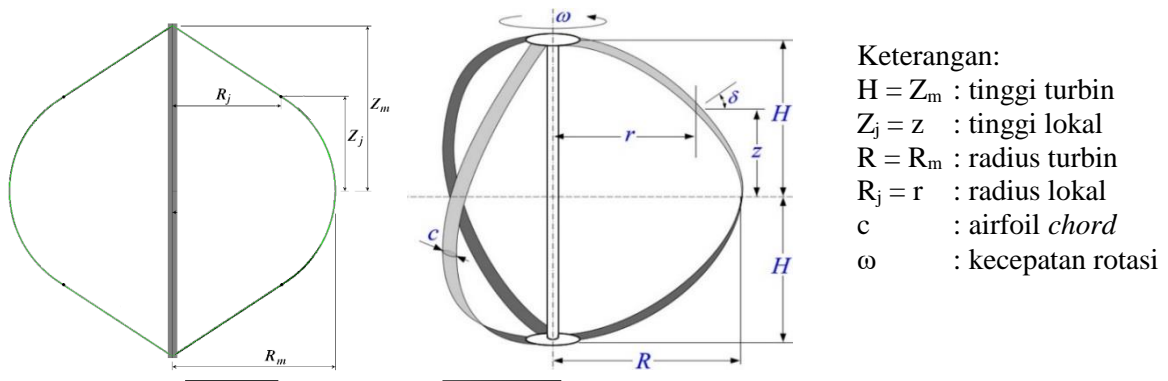
Energi terbarukan bisa digunakan sebagai solusi mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dengan cara menggunakan sumber hidroelektrik seperti penggunaan turbin vertikal berjenis Darrieus. Turbin Darrieus memiliki kelemahan yaitu kesulitan memulai awal putaran (*self starting*) pada rotornya karena berbasis gaya angkat. Studi ini menyelidiki pengaruh penambahan pengarah *Omni Directional Guide Vanes* (ODGV) dengan jumlah *guide vanes* dan besar sudut berbeda-beda terhadap turbin Darrieus dengan tujuan dapat menekan kelemahannya. Studi ini menggunakan turbin Darrieus 2 (dua) airfoil dan 3 (tiga) airfoil dengan profil NACA 0012 untuk diujikan di aliran air pada saluran prismatik. Hasil uji eksperimental menunjukkan bahwa penggunaan pengarah dengan perbandingan 1/6 celah ODGV (6 *guide vanes*) dan sudut 0° mengakibatkan bertambahnya nilai *Coefficient of Power* (C_p) dan nilai *Tip Speed Ratio* (TSR), sehingga mampu meningkatkan C_p rata-rata lebih besar 34,25% dari turbin Darrieus konvensional. Namun seiring bertambahnya jumlah *guide vanes* dan besar sudut membuat performa turbin menurun. Pengarah ODGV mampu meningkatkan nilai TSR sehingga dapat mengoptimalkan gaya angkat pada turbin.

Kata Kunci: Uji eksperimental, sudut *guide vanes*, turbin hidrokinetik darrieus, *coefficient of power*, *tip speed ratio*.

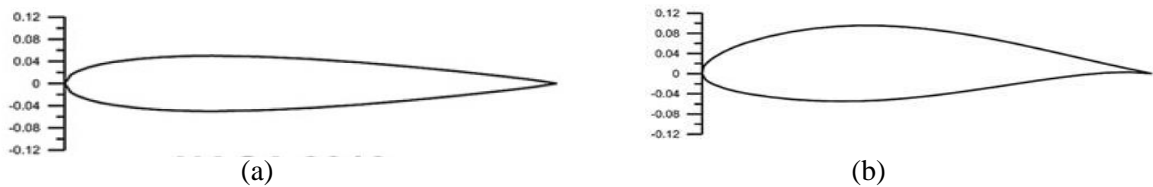
PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara kepulauan dan terletak di garis ekuator sehingga memiliki intensitas hujan tinggi dan memiliki banyak sungai. Keadaan ini berpotensi dalam pemanfaatan tenaga mikrohidro (Erinofiardi dkk., 2017). Turbin hidrokinetik memberikan solusi dengan memanfaatkan energi hidro (air) yang tersedia di sistem sungai (Saini dkk., 2020). Turbin hidrokinetik mempunyai potensi lebih banyak menghasilkan daya daripada turbin angin karena air memiliki massa jenis lebih tinggi dari udara (Patel dkk., 2017). Konfigurasi turbin hidrokinetik yang memanfaatkan gaya angkat (*lift force*) memiliki

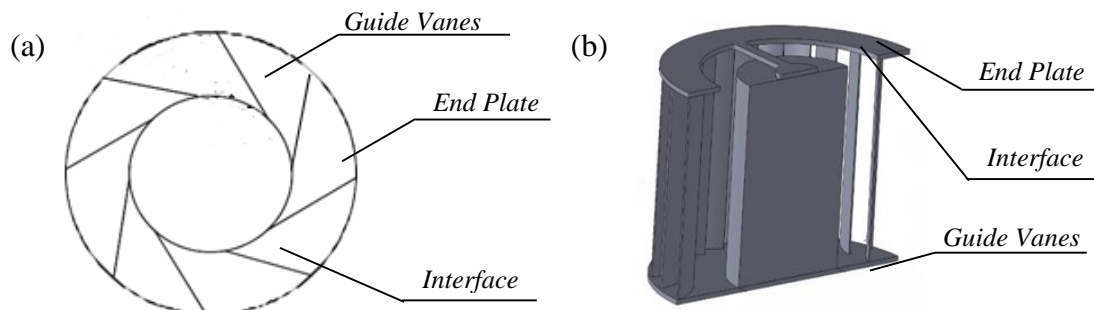
Uji Eksperimental Pengaruh Sudut *Omni Directional* Emilia Putri Octauria, dkk
 performa lebih baik diantara konfigurasi lainnya (Saini & Saini, 2019). *Vertical Axis Turbine* (VAT) berjenis Darrieus merupakan turbin hidrokinetik yang diterapkan pada pembangkit listrik *low-head*, namun memiliki kelemahan berupa awal putaran (*self starting*) yang buruk. Turbin Darrieus memiliki dua konfigurasi yaitu bilah melengkung dan bilah lurus (Tjiu dkk., 2015). Turbin Darrieus memiliki karakteristik yang dipengaruhi oleh *solidity* dan jumlah bilah (Shiono dkk., 2000).



Gambar 1. Geometri Turbin Darrieus : (a) Dua Airfoil (Torresi dkk., 2013) (b) Tiga Airfoil (Tchakoua dkk., 2015)
 Sumber : Torresi dkk (2013) & Tchakoua dkk (2015)



Gambar 2. Perbandingan Foils Simetris dan Non-simetris : (a) Foil Simetris NACA 0010 (b) Foil Non-simetris NACA 63415
 Sumber : Mohamed (2012)



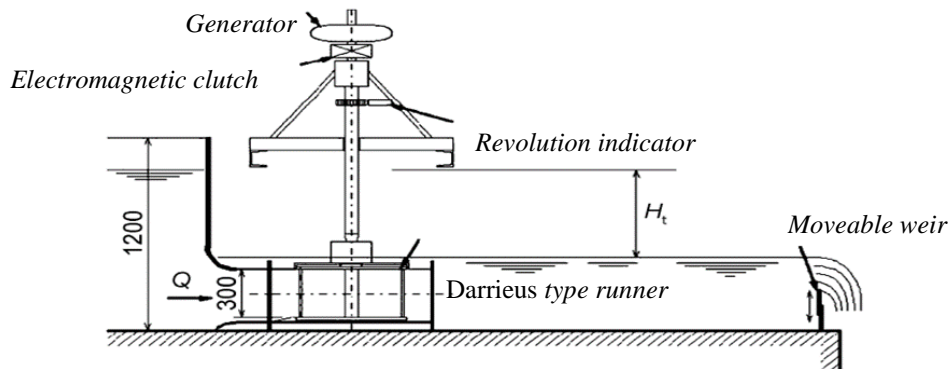
Gambar 3. Omni Directional Guide Vanes (ODGV) : (a) Tampak Atas ODGV (Lim dkk., 2013) (b) Desain Penampang ODGV (Alexander & Santhanakrishnan, 2018)
 Sumber : Lim dkk (2013) dan Alexander & Santhanakrishnan (2018)

Gambar 1 menunjukkan geometri turbin Darrieus yang memiliki konfigurasi dua airfoil dan tiga airfoil berbentuk lurus-melengkung-lurus. Gambar 2 menunjukkan seri *foils* simetris dan non-simetris (NACA 00XX, NACA 63XXX) yang mengarah ke performa terbaik dari turbin Darrieus (Mohamed, 2012). Lim dkk (2013) melakukan studi geometri sederhana ODGV berbentuk persegi panjang dan melingkar seperti ditunjukkan Gambar 3a. Desain ini dinilai dapat meningkatkan performa *Vertical Axis Wind Turbin* (VAWT) karena menciptakan efek venturi yang akan meningkatkan kecepatan sebelum berinteraksi dengan bilah turbin (Lim dkk.,2013). Gambar 3b memperlihatkan penampang ODGV pada studi Alexander & Santhanakrishnan (2018). Tabel 1 menunjukkan hasil studi para peneliti sebelumnya tentang turbin yang menggunakan konsep gaya angkat.

Tabel 1
Hasil Studi para Peneliti tentang Konfigurasi Turbin dengan Gaya Angkat

| Sumber | Metode | Variabel Penelitian | Hasil Penelitian |
|-------------------------------|---------------|---|--|
| Antomo dkk (2020) | Eksperimental | Bentuk bilah (menyerupai bentuk struktur DNA) dan luas bidang tangkap | Penambahan luas bidang tangkap pada turbin DNA menyebabkan nilai Cp, TSR dan RPM lebih rendah dari turbin gorlov. Turbin DNA mengalami peningkatan nilai torsi pada beberapa sudut rotasi. |
| Wardani dkk (2020) | Eksperimental | Bentuk bilah turbin Darrieus mengikuti bentuk profil distribusi kecepatan | Inovasi turbin diberi nama <i>Spinning Top Darrieus</i> . Hasil studi menunjukkan nilai RPM naik sehingga meningkatkan pengaruh gaya angkat. Nilai torsi turbin <i>Spinning Top Darrieus</i> lebih kecil dari turbin Darrieus. |
| Shimizu dkk (2016) | Eksperimental | Jumlah bilah dan <i>solidity</i> turbin Darrieus | Turbin Darrieus dengan jumlah tiga bilah memiliki awal putar (<i>self starting</i>) yang buruk dan terkadang berhenti berputar saat percobaan. Jumlah dua atau empat bilah pada turbin Darrieus membantu meningkatkan awal putar turbin. |
| Bedon dkk (2015) | Eksperimental | Sumbu rotasi turbin Darrieus dimiringkan pada kemiringan 10° dan 20° | Cp menurun saat konfigurasi turbin dimiringkan. Hal itu terjadi karena rotor turbin yang miring memiliki sudut serang lebih rendah. Cp maksimum bernilai 0.3112 pada TSR = 4,5 di sudut rotasi turbin 0°. |
| Malipeddi & Chatterjee (2012) | Eksperimental | Mengarahkan aliran ke turbin dengan variasi geometri <i>duct</i> | Cp meningkat dari 0,40 menjadi 0,63 saat TSR = 2. Torsi yang dihasilkan lebih beraturan setelah menempatkan turbin di posisi <i>duct</i> dengan tepat. |

Gambar 4. menunjukkan skema pengujian turbin hidrokinetik dengan poros vertikal di saluran air (Shimokawa dkk., 2010). Kolam hulu merupakan tempat masuknya air yang dialirkan di saluran dan akan dibuang langsung ke kolam hilir (Shimokawa dkk., 2012).



Gambar 4. Skema Pengujian Turbin Hidro pada Saluran Air
 Sumber : Shimokawa dkk (2010) & Shimokawa dkk (2012)

Performa turbin ditentukan oleh *Coefficient of Power* (C_p) dan *Tip Speed Ratio* (TSR) (Sahim dkk., 2014; Scungio dkk., 2016). C_p adalah nilai yang menunjukkan kekuatan mekanik dari suatu turbin (Hantoro dkk., 2018), yang dirumuskan sebagai berikut (Bedon dkk., 2013; Paraschivoiu dkk., 1983; Sheldahl dkk., 1980) :

$$C_p = \frac{P_{turbin}}{P_{Available}} = \frac{\tau\omega}{0.5\rho AV^3} \quad (1)$$

Dimana ρ adalah massa jenis air (kg/m^3), τ adalah torsi (Nm), A adalah luas bidang tangkap turbin (m^2), dan V adalah kecepatan aliran (m/s). Kecepatan minimum aliran searah horizontal terjadi di dasar saluran dan akan bertambah besar ke arah permukaan aliran (Nindito dkk., 2008). Nilai kecepatan sudut (ω) adalah konversi dari nilai RPM (Febrianto & Santoso, 2016).

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot RPM}{60} \quad (2)$$

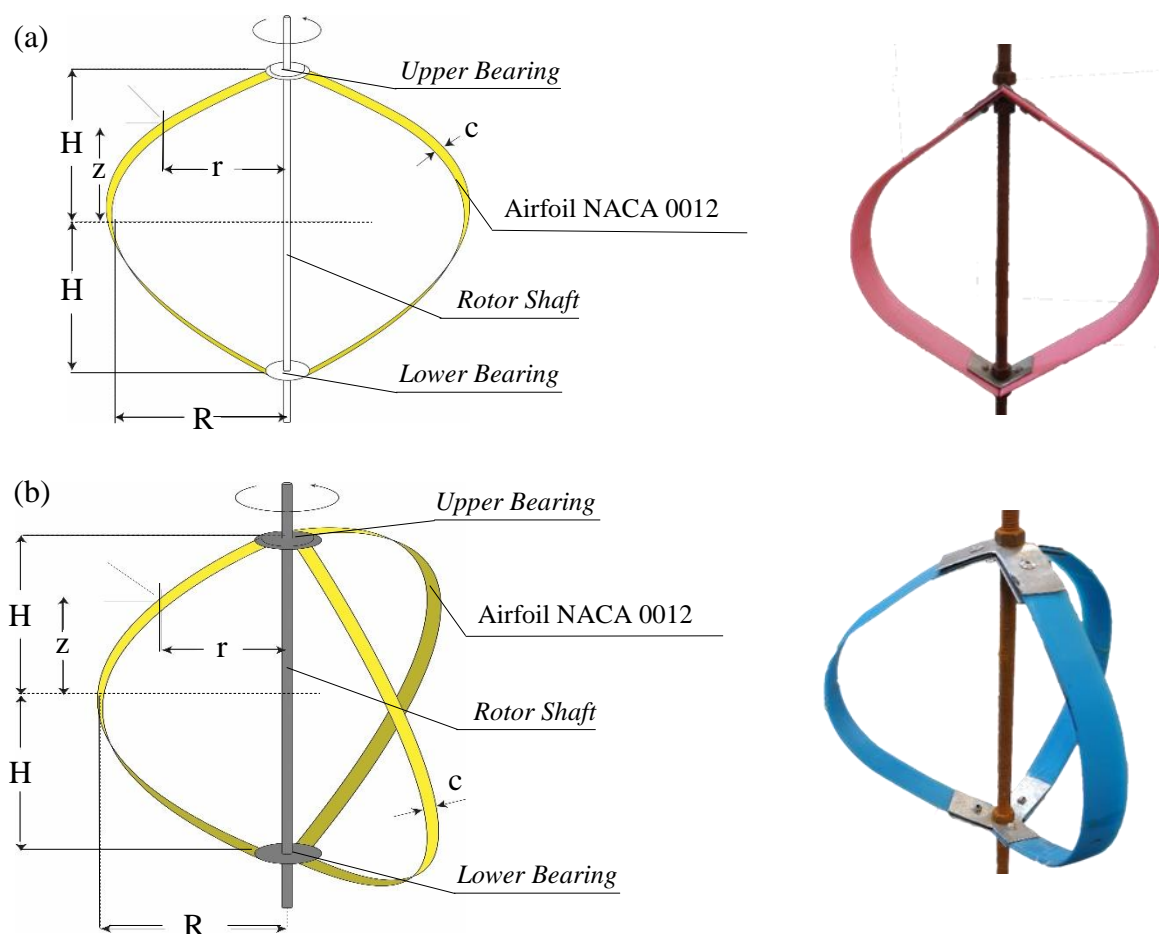
Tip Speed Ratio (TSR) yang disimbolkan dengan λ adalah perbandingan antara kecepatan aliran dengan kecepatan tangensial bilah. Nilai TSR menyatakan seberapa cepat turbin berputar pada kecepatan aliran tertentu (Hantoro dkk., 2018). TSR dapat dinyatakan dengan persamaan (Bedon dkk., 2014), dimana r adalah jari-jari turbin (m) :

$$TSR = \lambda = \frac{r \cdot \omega}{v} \quad (3)$$

Berdasarkan hasil studi sebelumnya, sistem pengarah aliran dapat menjadi solusi untuk meningkatkan performa turbin tetapi belum ada uji coba menggunakan turbin Darrieus berbentuk lengkung. Studi ini difokuskan pada penambahan pengarah eksternal turbin hidrokinetik Darrieus yang diujikan secara eksperimental. Tujuan dari studi ini adalah melihat performa turbin Darrieus setelah penambahan pengarah *Omni Directional Guide Vanes* (ODGV) dan pengaruh perubahan sudut *guide vanes*. Dengan mengubah konfigurasi sudut *guide vanes* diharapkan aliran yang datang akan mengarah langsung ke sudut aliran secara optimal sebelum berinteraksi dengan rotor turbin.

METODE PENELITIAN

Studi ini melakukan uji eksperimental penambahan pengarah aliran sumbu vertikal berjenis *Omni Directional Guide Vanes* (ODGV) pada turbin Darrieus dengan besar sudut dan jumlah *guide vanes* yang berbeda-beda. Konfigurasi turbin Darrieus pada studi ini menggunakan 2 airfoil dan 3 airfoil seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.

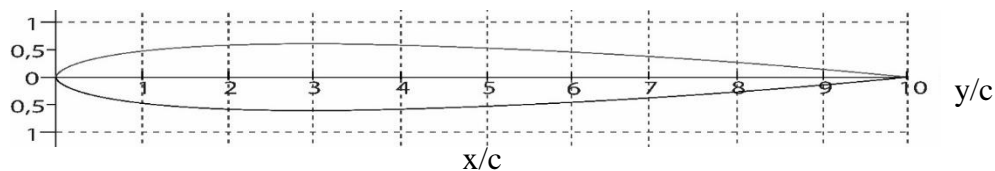


Gambar 5. Sketsa dan Prototipe Turbin Darrieus: (a) 2 Airfoil (b) 3 Airfoil

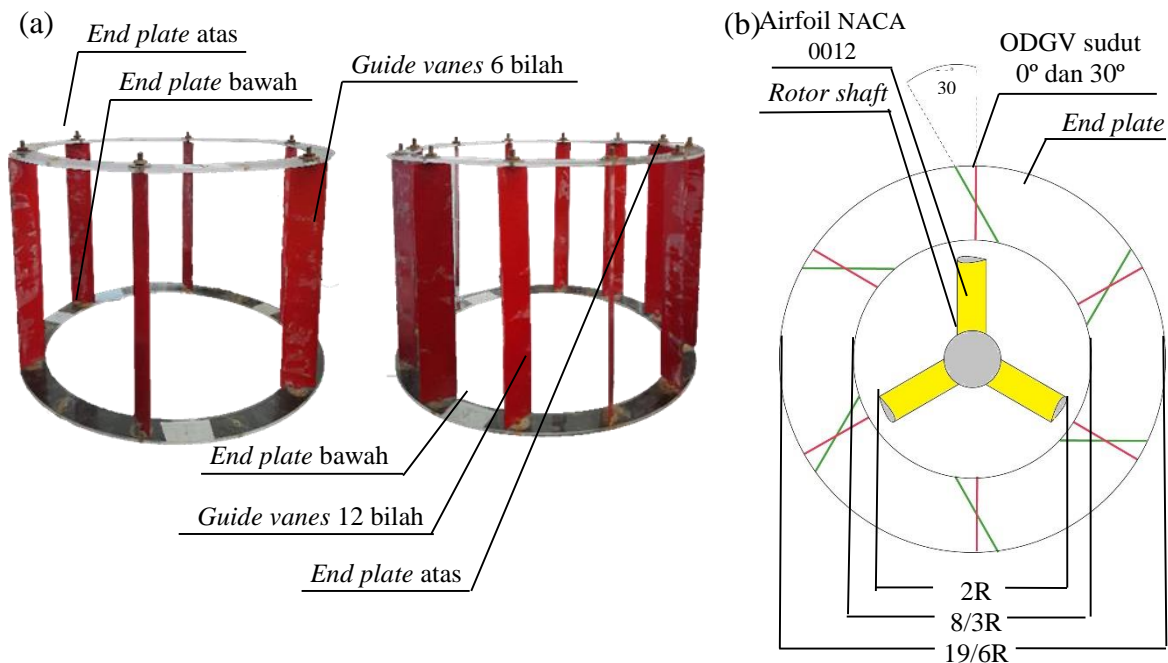
Tabel 2
Dimensi Turbin Darrieus saat Pengujian

| Notasi | Dimensi |
|----------------------------|-----------|
| Tinggi turbin (H) | 10,8 cm |
| Jari-jari turbin (R) | 10,6 cm |
| Tinggi lokal turbin (z) | 0,44H |
| Jari-jari lokal turbin (r) | 0,684R |
| Panjang <i>chord</i> : | |
| - 2 airfoil (x/c) | 4 cm |
| - 3 airfoil (x/c) | 2,5 cm |
| Tebal <i>chord</i> | |
| - 2 airfoil (y/c) | 0,48 cm |
| - 3 airfoil (y/c) | 0,3 cm |
| <i>Solidity</i> | 0,11 |
| Airfoil | NACA 0012 |

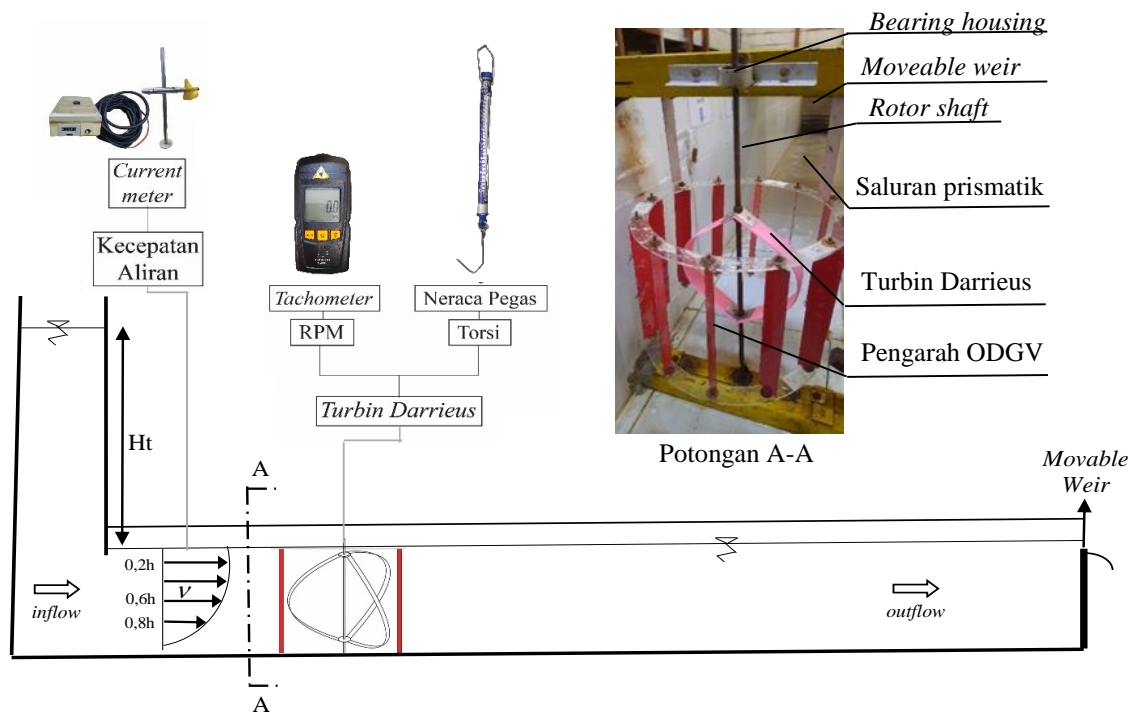
Foil simetris memiliki performa lebih tinggi dari pada *foil* non-simetris (Mohamed, 2012), sehingga bentuk penampang profil NACA 0012 dipilih saat pengujian (Gambar 6).



Gambar 6. Ilustrasi Penampang Profil NACA 0012



Gambar 7. Variasi Pengaruh ODGV : (a) Variasi Jumlah *Guide Vanes*
(b) Variasi Sudut Pengarah ODGV

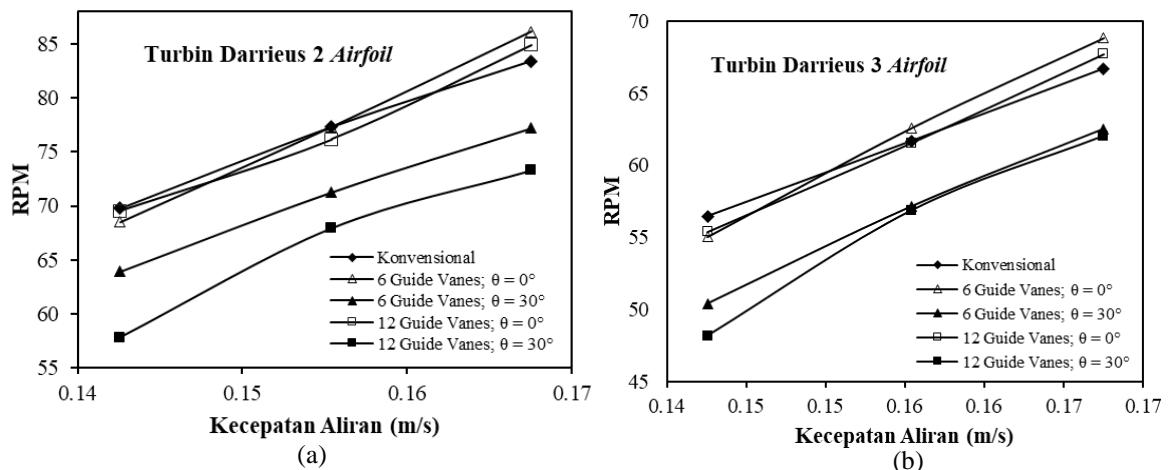


Gambar 8. Skema Pengujian Turbin Darrieus dan Pengaruh ODGV pada Saluran Prismatik (*flume*)

Gambar 7 menunjukkan variasi ODGV yang digunakan turbin Darrieus 2 airfoil maupun 3 airfoil. Gambar 8 menunjukkan skema uji eksperimental yang dilakukan di saluran prismatik (*flume*) dengan dimensi lebar 0,60 m, tinggi 0,60 m serta panjang 8 m. Aliran air yang masuk ke saluran akibat perubahan tinggi tekanan (H_t) menyebabkan terjadi kecepatan yang mampu memutar turbin. *Moveable weir* pada bagian hilir saluran berfungsi untuk mempertahankan elevasi permukaan air. Uji eksperimental performa turbin Darrieus dalam studi ini menggunakan penambahan ODGV dan tanpa ODGV. Nilai torsi diperoleh dari gaya yang diukur dengan neraca pegas lalu dikalikan panjang lengan gayanya. Nilai RPM diukur dari pembacaan alat *tachometer* seri GM8905. Kecepatan aliran diukur menggunakan alat *current meter* tipe SEBA-*Universal Current meter* F1.

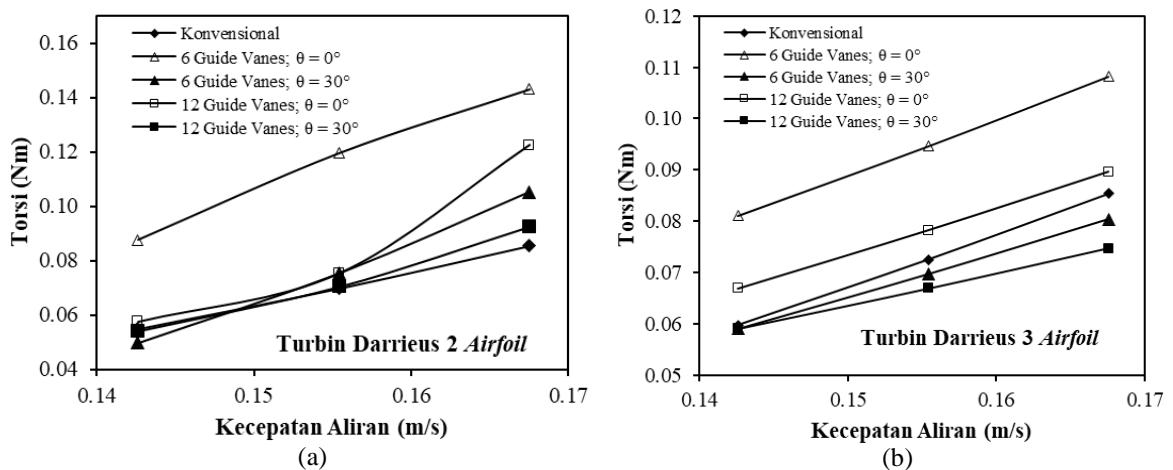
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan pada kecepatan 0,14 m/s, 0,16 m/s dan 0,17 m/s. Hubungan antara kecepatan aliran dengan RPM ditunjukkan pada Gambar 9. Hasil studi menunjukkan bahwa nilai RPM berada pada rentang 57,81-86,18 untuk turbin Darrieus 2 (dua) airfoil, sedangkan untuk 3 (tiga) airfoil berada pada rentang 48,16-68,84.



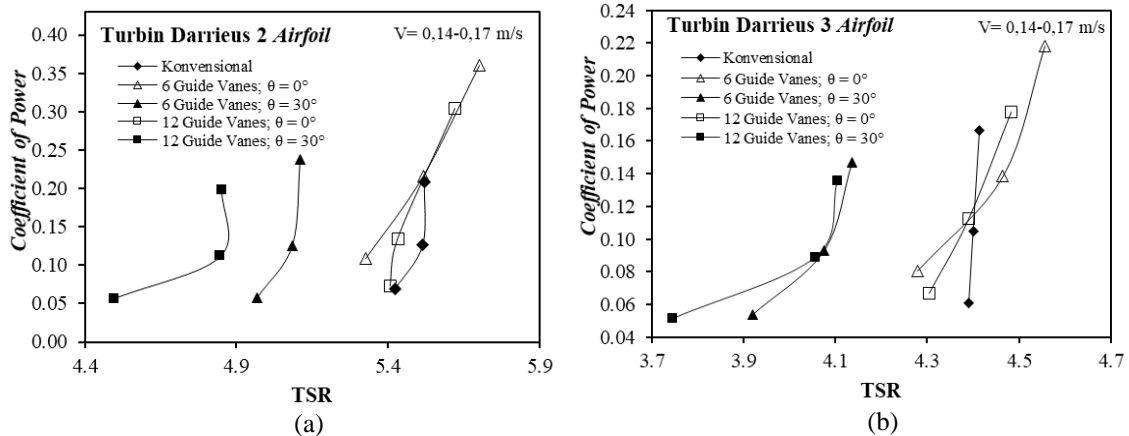
Gambar 9. Hubungan RPM dan Kecepatan Aliran pada Turbin Hidrokinetik Darrieus : (a) 2 (dua) Airfoil (b) 3 (tiga) Airfoil
 Sumber: Data primer yang diolah, 2021

Hubungan antara kecepatan dengan torsi ditunjukkan pada Gambar 10. Rentang nilai torsi turbin Darrieus 2 airfoil yaitu 0,05-0,14 Nm sedangkan 3 airfoil adalah 0,06-0,11 Nm.



Gambar 10. Hubungan Torsi dan Kecepatan Aliran pada Turbin Hidrokinetik Darrieus : (a) 2 (dua) Airfoil (b) 3 (tiga) Airfoil
 Sumber: Data primer yang diolah, 2021

Nilai Rotasi Per Menit (RPM) dan torsi meningkat seiring bertambahnya kecepatan. Gradien perubahan kecepatan terhadap nilai RPM maupun nilai torsi tertinggi terjadi pada turbin Darrieus 2 (dua) airfoil maupun 3 (tiga) airfoil yang menggunakan pengaruh ODGV dengan jumlah 6 *guide vanes* sudut 0° dibanding turbin Darrieus konvensional. Pengujian terhadap perubahan sudut (diperbesar menjadi 30°) pada *guide vane* mengakibatkan semakin menurunnya nilai RPM dan torsi untuk kedua jenis airfoil.



Gambar 11. C_p dan TSR antara Turbin Hidrokinetik Darrieus Konvensional dengan yang Ditambah Pengaruh ODGV : (a) 2 Airfoil (b) 3 Airfoil
 Sumber: Data primer yang diolah, 2021

Gambar 11 menunjukkan karakteristik performa turbin hidrokinetik Darrieus mengenai C_p dan TSR berdasarkan jumlah rotor turbin dengan menggunakan pengaruh ODGV maupun tanpa pengaruh ODGV. Terlihat bahwa turbin yang menggunakan pengaruh ODGV dengan jumlah 6 *guide vanes* disudut 0° memiliki performa lebih tinggi daripada turbin yang tidak menggunakan pengaruh ODGV. Hal ini berlaku untuk turbin hidrokinetik Darrieus 2 airfoil maupun 3 airfoil. $C_{p \max}$ yang terjadi adalah 0,36 saat $TSR = 5,7$ milik turbin hidrokinetik 2 airfoil dengan pengaruh ODGV 6 *guide vanes*; $\theta = 0^\circ$. Rekapitulasi nilai yang diteliti pada studi ini dirangkum pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3
 Performa Turbin Hidrokinetik Darrieus 2 Airfoil pada Interval Kecepatan 0,14-0,17 m/s

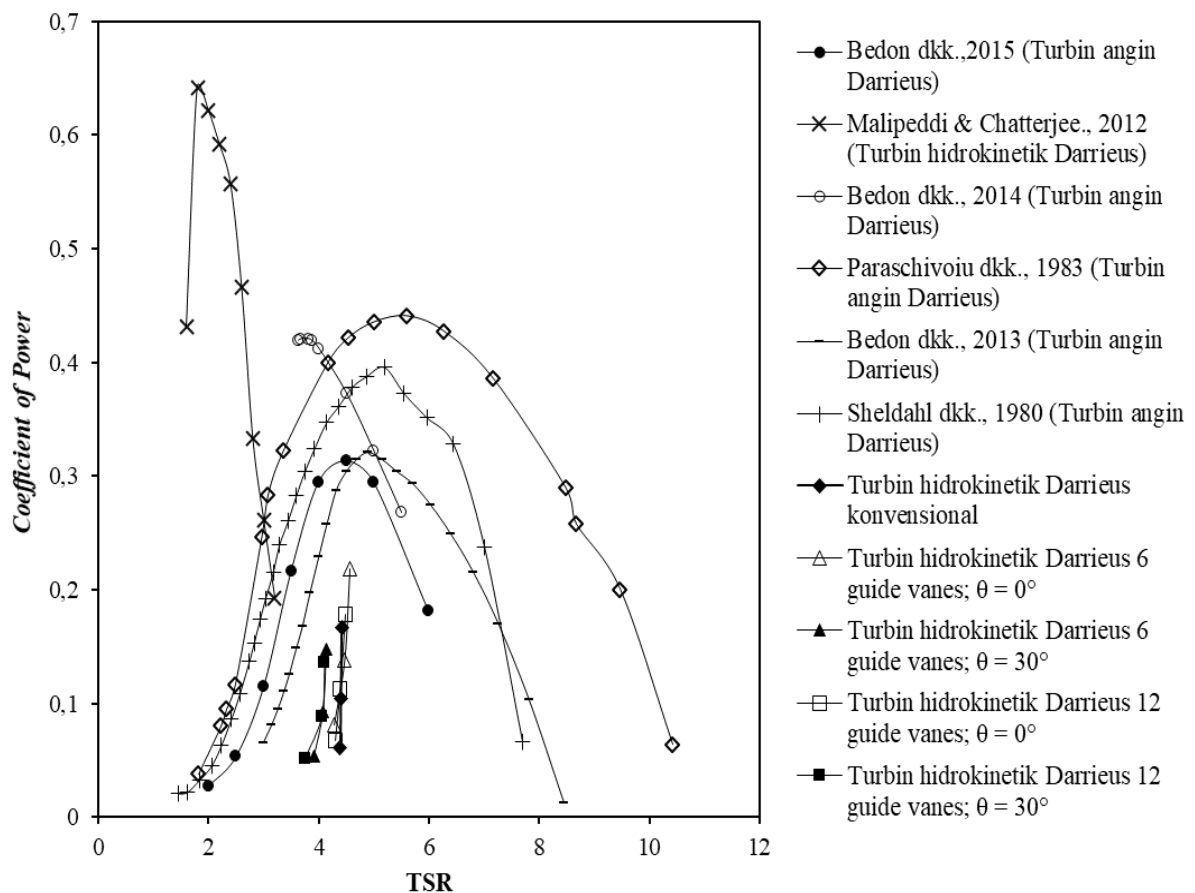
| Variasi | Turbin Hidrokinetik Darrieus 2 Airfoil | | | |
|---|--|-------------|-----------|-----------|
| | Torsi | RPM | C_p | TSR |
| Konvensional | 0,05-0,09 | 69,76-83,43 | 0,07-0,21 | 5,42-5,52 |
| 6 <i>Guide Vanes</i> ; $\theta = 0^\circ$ | 0,09-0,14 | 68,53-86,18 | 0,11-0,36 | 5,33-5,7 |
| 6 <i>Guide Vanes</i> ; $\theta = 30^\circ$ | 0,05-0,11 | 63,9-77,23 | 0,06-0,24 | 4,97-5,11 |
| 12 <i>Guide Vanes</i> ; $\theta = 0^\circ$ | 0,06-0,12 | 69,56-84,96 | 0,07-0,3 | 5,41-5,62 |
| 12 <i>Guide Vanes</i> ; $\theta = 30^\circ$ | 0,05-0,09 | 57,81-73,3 | 0,06-0,2 | 4,5-4,85 |

Sumber: Data primer yang diolah, 2021

Tabel 4
 Performa Turbin Hidrokinetik Darrieus 3 Airfoil pada Interval Kecepatan 0,14-0,17 m/s

| Variasi | Turbin Hidrokinetik Darrieus 3 Airfoil | | | |
|---|--|-------------|-----------|-----------|
| | Torsi | RPM | C_p | TSR |
| Konvensional | 0,06-0,09 | 56,46-66,69 | 0,06-0,17 | 4,39-4,41 |
| 6 <i>Guide Vanes</i> ; $\theta = 0^\circ$ | 0,08-0,11 | 55,02-68,84 | 0,08-0,22 | 4,28-4,56 |
| 6 <i>Guide Vanes</i> ; $\theta = 30^\circ$ | 0,06-0,08 | 50,4-62,5 | 0,05-0,15 | 3,92-4,14 |
| 12 <i>Guide Vanes</i> ; $\theta = 0^\circ$ | 0,07-0,09 | 55,36-67,73 | 0,07-0,18 | 4,31-4,48 |
| 12 <i>Guide Vanes</i> ; $\theta = 30^\circ$ | 0,06-0,07 | 48,16-62,03 | 0,05-0,14 | 3,74-4,1 |

Sumber: Data primer yang diolah, 2021



Gambar 12. Komparasi nilai *Coefficient of Power* dan TSR turbin Darrieus dengan peneliti sebelumnya

Sumber: Data sekunder dibandingkan data primer yang diolah, 2021

Gambar 12 menunjukkan hubungan nilai *Coefficient of Power* (C_p) terhadap TSR turbin hidrokinetik Darrieus 3 (tiga) airfoil yang dibandingkan dengan hasil studi sebelumnya. Hasil komparasi memperlihatkan bahwa nilai C_p studi ini berada pada rasio yang hampir sama dengan hasil studi Bedon dkk (2015), Paraschivoiu dkk (1983), Bedon dkk (2013) dan Sheldahl dkk (1980), tetapi memiliki nilai TSR yang lebih besar. Penggunaan turbin Darrieus bertipe Sandia berbentuk seperti busur melingkar yang digunakan sebagai acuan geometri turbin pada studi ini menunjukkan nilai C_p dan TSR yang hampir sama dengan studi Paraschivoiu dkk (1983) yang juga menggunakan turbin Sandia. Keterbatasan rentang kecepatan yang digunakan dalam pengujian studi kali ini menyebabkan terbatasnya trayektori nilai C_p dan TSR yang dihasilkan, sehingga posisi titik puncak C_p dan batas sisi turun (resesi) TSR belum bisa ditampilkan.

SIMPULAN

Turbin hidrokinetik Darrieus dengan konfigurasi 2 airfoil memiliki performa lebih baik dari 3 airfoil. Penambahan pengarah ODGV pada jumlah 6 *guide vanes* di sudut 0° dapat mengoptimalkan performa sehingga mampu menaikkan nilai C_p rata-rata lebih besar 34,25% dari turbin Darrieus konvensional (tanpa pengarah ODGV). Semakin banyak jumlah *guide vanes* yang digunakan, semakin sedikit aliran air yang menuju turbin, sehingga dapat mengurangi performa turbin. Penambahan kemiringan sudut *guide vanes* mengurangi performa turbin. Penggunaan ODGV menghasilkan TSR yang lebih tinggi sehingga ODGV mampu meningkatkan potensi gaya angkat pada turbin. Untuk studi selanjutnya, penggunaan pengarah ODGV dapat dicobakan pada jenis turbin vertikal lainnya dengan konfigurasi jumlah dan besar sudut *guide vanes* yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alexander, A. S., & Santhanakrishnan, A. (2018). Trapped Cylindrical Flow with Multiple Inlets for Savonius Vertical Axis Wind Turbines. *Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME*, 140(4), 1–26.
- [2] Alom, N., & Saha, U. K. (2018). Four Decades of Research into the Augmentation Techniques of Savonius Wind Turbine Rotor. *Journal of Energy Resources Technology, Transactions of the ASME*, 140(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. <https://doi.org/10.36055/tjst.v16i2.9186>
- [3] Bedon, G., De Betta, S., & Benini, E. (2015). A computational assessment of the aerodynamic performance of a tilted Darrieus wind turbine. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 145, 263–269.
- [4] Bedon, G., Raciti Castelli, M., & Benini, E. (2013). Optimization of a Darrieus vertical-axis wind turbine using blade element - momentum theory and evolutionary algorithm. *Renewable Energy*, 59, 184–192.
- [5] Bedon, G., Raciti Castelli, M., & Benini, E. (2014). Optimal spanwise chord and thickness distribution for a Troposkien Darrieus wind turbine. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 125, 13–21.
- [6] Erinofardi, Gokhale, P., Date, A., Akbarzadeh, A., Bismantolo, P., Suryono, A. F.,

- Mainil, A. K., & Nuramal, A. (2017). A Review on Micro Hydropower in Indonesia. *Energy Procedia*, 110(March), 316–321.
- [7] Febrianto, Aris, & Agoes Santoso. (2016). Analisa Perbandingan Torsi dan RPM Turbin Tipe Darrieus Terhadap Efisiensi Turbin. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2).
- [8] Hantoro, R., Utama, I. K. A. P., Arief, I. S., Ismail, A., & Manggala, S. W. (2018). Innovation in Vertical Axis Hydrokinetic Turbine - Straight Blade Cascaded (VAHT-SBC) design and testing for low current speed power generation. *Journal of Physics: Conference Series*, 1022(1).
- [9] Lim, Y. C., Chong, W. T., & Hsiao, F. B. (2013). Performance investigation and optimization of a vertical axis wind turbine with the omni-direction-guide-vane. *Procedia Engineering*, 67, 59–69.
- [10] Malipeddi, A. R., & Chatterjee, D. (2012). Influence of duct geometry on the performance of Darrieus hydro turbine. *Renewable Energy*, 43, 292–300.
- [11] Mohamed, M. H. (2012). Performance investigation of H-rotor Darrieus turbine with new airfoil shapes. *Energy*, 47(1), 522–530.
- [12] Nindito, D. A., Istiarto, & Kironoto, B. A. (2008). Simulasi Numeris Tiga Dimensi Kantong Lumpur Bendung Sapon. *Forum Teknik Sipil*, XVIII(1), 712–724.
- [13] Paraschivoiu, I., Delclaux, F., Fraunie, P., & Beguier, C. (1983). Aerodynamic Analysis of the Darrieus Rotor Including Secondary Effects. *Journal of Energy*, 7(5), 416–422.
- [14] Patel, V., Eldho, T. I., & Prabhu, S. V. (2017). Experimental investigations on Darrieus straight blade turbine for tidal current application and parametric optimization for hydro farm arrangement. In *International Journal of Marine Energy* (Vol. 17). Elsevier Ltd.
- [15] Sahim, K., Ihtisan, K., Santoso, D., & Sipahutar, R. (2014). Experimental study of darrieus-savonius water turbine with deflector: Effect of deflector on the performance. *International Journal of Rotating Machinery*, 2014.
- [16] Saini, G., & Saini, R. P. (2019). A review on technology, configurations, and performance of cross-flow hydrokinetic turbines. *International Journal of Energy Research*, 43(13), 1–41.
- [17] Saini, G., Kumar, A., & Saini, R. P. (2020). Assessment of hydrokinetic energy – A case study of eastern Yamuna canal. *Materials Today: Proceedings*, 2–6.

- [18] Scungio, M., Arpino, F., Focanti, V., Profili, M., & Rotondi, M. (2016). Wind tunnel testing of scaled models of a newly developed Darrieus-style vertical axis wind turbine with auxiliary straight blades. *Energy Conversion and Management*, 130, p.60–70.
- [19] Sheldahl, R. E., Klimas, P. C., & Feltz, L. V. (1980). Aerodynamic Performance of a 5-m-Diameter Darrieus Turbine. *Journal of Energy*, 4(5), 227–232.
- [20] Shimizu, S., Fujii, M., Sumida, T., Sasa, K., Kimura, Y., Koga, E., & Motogi, H. (2016). Starting system for darrieus water turbine of tidal stream electricity generation. *Proceedings of the International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering - OMAE*, 6, 3–8.
- [21] Shimokawa, K., Furukawa, A., Okuma, K., Matsushita, D., & Watanabe, S. (2010). Side-wall effect of runner casing on performance of Darrieus-type hydro turbine with inlet nozzle for extra-low head utilization. *Science China Technological Sciences*, 53(1), 93–99.
- [22] Shimokawa, K., Furukawa, A., Okuma, K., Matsushita, D., & Watanabe, S. (2012). Experimental study on simplification of Darrieus-type hydro turbine with inlet nozzle for extra-low head hydropower utilization. *Renewable Energy*, 41, 376–382.
- [23] Shiono, M., Suzuki, K., & Kiho, S. (2000). Experimental study of the characteristics of a Darrieus turbine for tidal power generation. *Electrical Engineering in Japan (English Translation of Denki Gakkai Ronbunshi)*, 132(3), 38–47.
- [24] Tchakoua, P., Wamkeue, R., Ouhrouche, M., Tameghe, T. A., & Ekemb, G. (2015). A new approach for modeling darrieus-type vertical axis wind turbine rotors using electrical equivalent circuit analogy: Basis of theoretical formulations and model development. *Energies*, 8(10), 10684–10717.
- [25] Tjiu, W., Marnoto, T., Mat, S., Ruslan, M. H., & Sopian, K. (2015). Darrieus vertical axis wind turbine for power generation I: Assessment of Darrieus VAWT configurations. *Renewable Energy*, 75, 50–67.
- [26] Torresi, M., Bari, P., David, V. R., Fortunato, B., Bari, P., David, V. R., Camporeale, S. M., Bari, P., & David, V. R. (2013). An Efficient 3D CFD Model For The Analysis Of The Flow Field Around Darrieus Rotors. *Proceedings of ASME Turbo Expo 2013: Turbine Technical Conference and Exposition GT2013*, 1, 1–14.

Uji Eksperimental Pengaruh Sudut *Omni Directional* Emilia Putri Octauria, dkk

- [27] 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. <https://doi.org/10.33084/mits.v9i1.1771>