

**INOVASI DAN DESAIN TURBIN HIDROKINETIK DARRIEUS
BERDASARKAN BENTUK DISTRIBUSI KECEPATAN ALIRAN**

***INNOVATION AND DESIGN OF DARRIEUS HYDROKINETIC TURBINES
BASED ON THE SHAPE OF FLOW VELOCITY DISTRIBUTION***

Citra Sari Wardani¹, Dwi Anung Nindito^{*2}, Allan Restu Jaya³

Program Studi Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Palangka Raya

*Korespondensi: dwi_anungnindito@eng.upr.ac.id

ABSTRAK

Turbin *Darrieus* menggunakan *blade* dengan bentuk hidrofoil, sehingga kemampuan putarannya dipengaruhi oleh gaya *lift*. Hal ini menyebabkan kemampuan awal putarannya sangat rendah bila dibandingkan dengan tipe turbin yang dipengaruhi oleh gaya *drag*. Distribusi kecepatan aliran pada arah vertikal menunjukkan kecepatan penampang aliran yang kecil mendekati dasar saluran, kemudian meningkat menuju permukaan. Turbin *Spinning Top Darrieus* merupakan hasil inovasi dan desain berdasarkan konsep distribusi kecepatan aliran tersebut. *Blade* turbin *Spinning Top Darrieus* berbentuk *circular-arc* (lengkung) dan garis lurus, dengan menyesuaikan profil distribusi kecepatan aliran di 0,2H, 0,6H dan 0,8H dari bagian atas turbin. Pada studi ini dilakukan perbandingan kinerja antara turbin *Darrieus* dengan *Spinning Top Darrieus*. Turbin *Darrieus* menghasilkan nilai RPM dan torsi masing-masing 54,59 – 67,90 dan 0,014 – 0,029 Nm. Turbin *Spinning Top Darrieus* menghasilkan nilai RPM dan torsi masing-masing 69,24 – 82,02 dan 0,012 – 0,020 Nm. Turbin *Spinning Top Darrieus* memiliki RPM yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin *Darrieus*. Peningkatan RPM pada desain turbin *Spinning Top Darrieus* meningkatkan pengaruh gaya *lift* (meningkatnya nilai λ). Hal ini menghasilkan laju putaran yang tinggi, akan tetapi memerlukan *self starting* yang tinggi pula untuk melakukan siklus rotasi turbin.

Kata Kunci: Hidrokinetik, *Darrieus*, *Spinning Top Darrieus*, Distribusi Kecepatan Aliran

ABSTRACT

Darrieus turbine use blades with a hydrofoil shape, so the rotational ability is influenced by lift force. This caused the initial rotation capability to be very low when compared to the drag turbine type. The flow velocity distribution in the vertical direction indicates a small cross-sectional speed of flow approaching the base of the flow channel, then rising towards the surface. Darrieus Spinning Top turbine is the result of innovation and design based on the concept of flow velocity distribution. Darrieus Spinning Top turbine's blade shapes are circular-arc and straight-line, adjusting flow velocity distribution of 0.2H, 0.6H and 0.8H from the top of the turbine. In this study, a performance comparison was conducted between Darrieus turbine and Spinning Top Darrieus. Darrieus turbines produce RPM and torque values of 54.59 – 67.90 and 0.014 – 0.029 Nm, respectively. Darrieus Spinning Top turbines produce RPM values and torque of 69.24 – 82.02 and 0.012 – 0.020 Nm respectively. The Darrieus Spinning Top Turbine has a higher RPM compared to the Darrieus turbine RPM improvements in Darrieus Spinning Top turbine design increase the influence of lift force (increased λ value). This results in a high lap rate, but requires a high self starting to perform the turbine rotation cycle.

Keywords: Hydrokinetic, *Darrieus*, *Spinning Top Darrieus*, Flow Velocity Distribution

PENDAHULUAN

Energi hidrokinetik merupakan kajian yang baru dalam bidang teknologi energi terbarukan (Yuce dan Muratoglu, 2015). Indonesia merupakan negara maritim yang memiliki potensi pemanfaatan *renewable energy* sangat besar, hal ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan energi hidrokinetik yang dihasilkan dari sungai ataupun aliran pasang surut (Behrouzi, Maimun dan Nakisa, 2014). Turbin tipe *cross-flow* dapat digunakan sebagai teknologi tepat guna bagi masyarakat tepi sungai dalam perencanaan PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air) skala kecil (Nindito and Kamiana, 2010).

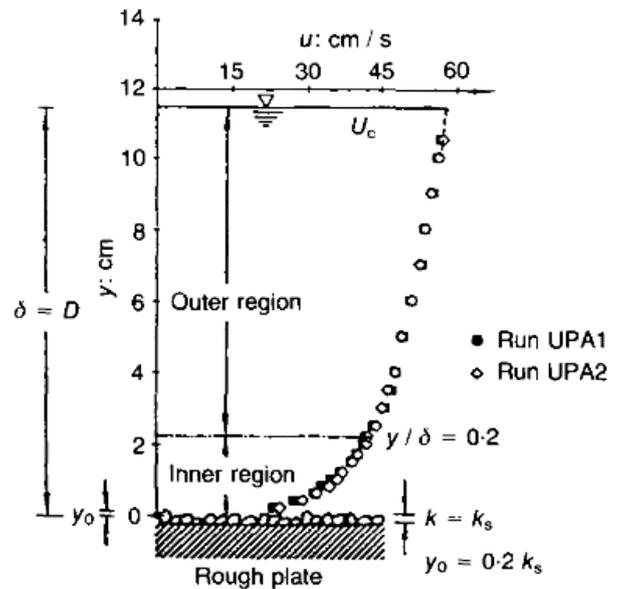
Turbin *Darrieus* merupakan salah satu tipe turbin yang dipengaruhi gaya *lift* akibat bentuk hidrofoilnya (Khan, Iqbal dan Quaicoe, 2006). Hal ini menyebabkan kemampuan awal putarannya sangat rendah bila dibandingkan dengan tipe turbin *drag*.

Pada komponen horizontal saluran (arah memanjang), kecepatan minimum terjadi di dekat dasar saluran kemudian bertambah besar menuju permukaan (Nindito, 2009). Berdasarkan pernyataan tersebut, maka dilakukan inovasi dan desain turbin hidrokinetik yang didasarkan dari bentuk distribusi kecepatan aliran. Turbin *Spinning Top Darrieus* merupakan turbin hasil pengembangan dari bentuk distribusi kecepatan dengan desain awal dari turbin *Darrieus*. Pada desain turbin *Spinning Top Darrieus*, dimensi *straight-line* dan *circular-arc* disesuaikan dengan bentuk distribusi kecepatan aliran pada 0,2H, 0,6H dan 0,8H dari atas turbin.

TINJAUAN PUSTAKA

Studi Nindito, Istiarto dan Kironoto (2009) menunjukkan pola distribusi kecepatan aliran pada komponen horizontal dan vertikal ditampilkan melalui vektor kecepatan. Komponen horizontal menunjukkan kecepatan aliran dari bagian hulu menuju hilir nilainya mengecil. Kecepatan aliran horizontal mendekati dinding batas semakin kecil dan maksimum terjadi pada bagian tengah ($y/B=0,5$).

Kironoto dan Walter (1994) melakukan studi karakteristik turbulen pada penampang kasar saluran terbuka. Untuk melihat perbedaan karakteristik yang dihasilkan, maka dilakukan pengamatan pada dua tipe penampang kasar.

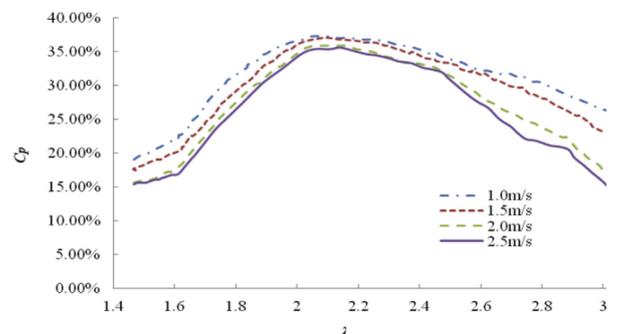


Gambar 1. Profil kecepatan penampang rerata pada *rough plate*

Sumber: Kironoto and Walter (1994)

Hasil pengamatan pada **Gambar 1** menunjukkan karakteristik kecepatan penampang rerata yang dihasilkan dari tipe penampang *rough plate*. Berdasarkan **Gambar 1**, bagian *inner region* menunjukkan pada dasar saluran kecepatan penampang rerata aliran adalah kecil kemudian meningkat menuju ke bagian atas. Bagian *outer region* yang dihasilkan menunjukkan bahwa kecepatan penampang aliran terus meningkat hingga permukaan.

Wang *et al.* (2016) melakukan pengamatan performa turbin *Darrieus* akibat pengaruh *vortex* pada *blade*.



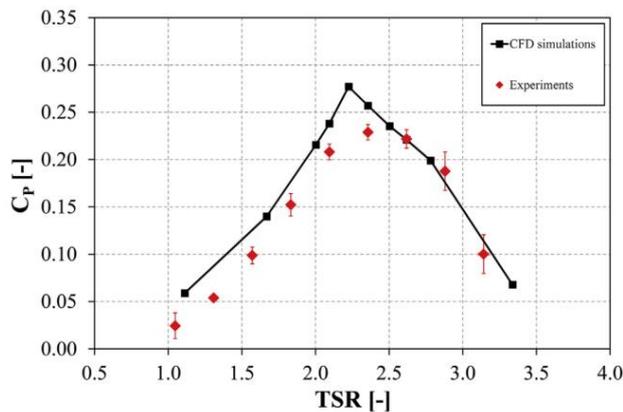
Gambar 2. Perbandingan hasil performa C_p dan λ pada masing-masing kecepatan aliran

Sumber: Wang *et al.* (2016)

Model turbin menggunakan NACA 0018 dengan panjang *chord* 200 mm dengan 3 buah *blade*. Berdasarkan **Gambar 2**, diketahui pengurangan kecepatan aliran menghasilkan

peningkatan perolehan *coefficient of power* (C_p) pada turbin *Darrieus*. Karakteristik performa yang dihasilkan menunjukkan peningkatan C_p pada awal *tip speed ratio* (λ) kemudian mulai menurun dengan bertambahnya λ . Pada kecepatan 2 m/s, nilai optimum C_p 37 % (0,37) dicapai saat *tip speed ratio* 2,2.

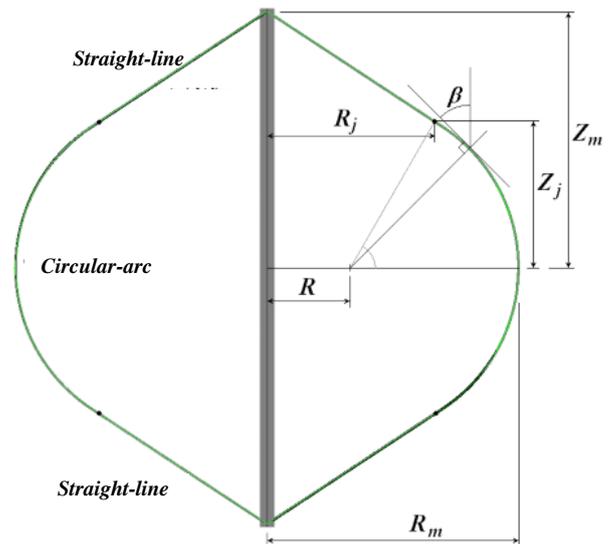
Balduzzi *et al.* (2016) melakukan pengamatan *critical issues* pada turbin angin *Darrieus*. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan CFD (*Computational Fluid Dynamics*) dengan membandingkan hasil numerik dengan data eksperimen.



Gambar 3. Grafik performa C_p dan λ hasil CFD dengan eksperimen
Sumber: Balduzzi *et al.* (2016)

Berdasarkan **Gambar 3**, data perhitungan simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamics*) menghasilkan pola grafik yang cukup baik dengan data hasil eksperimen pada turbin angin *Darrieus*. Perbedaan karakteristik terlihat pada nilai puncak C_p , dengan nilai optimum C_p yang dihasilkan dari simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) lebih tinggi daripada hasil data eksperimen. Hal ini dapat terjadi karena desain antara model turbin pada simulasi CFD tidak dapat dikondisikan sama persis dengan model turbin *Darrieus* yang diuji coba.

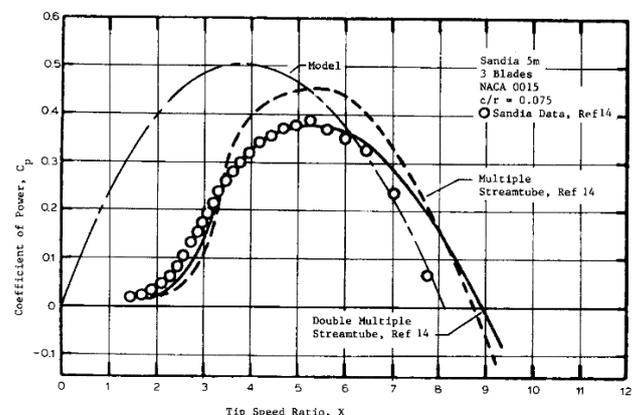
Torresi, Fortunato dan Camporeale (2013) melakukan studi numerik dalam pengamatan karakteristik aliran dan performa yang dihasilkan dari model turbin *Darrieus*.



Gambar 4. Dimensi dan skema turbin *Darrieus* Sandia
Sumber: Torresi, Fortunato dan Camporeale (2013)

Gambar 4 menunjukkan dimensi yang digunakan pada turbin *Darrieus* Sandia. Tinggi rotor ($2Z_{max}$) mencapai 17,08 m, dengan maksimum diameter ($2R_{max}$) 16,73 m. Nilai R menunjukkan radius *circular arc*. Desain ini (**Gambar 5**) menggunakan 2 buah *blade* dengan profil NACA 0015.

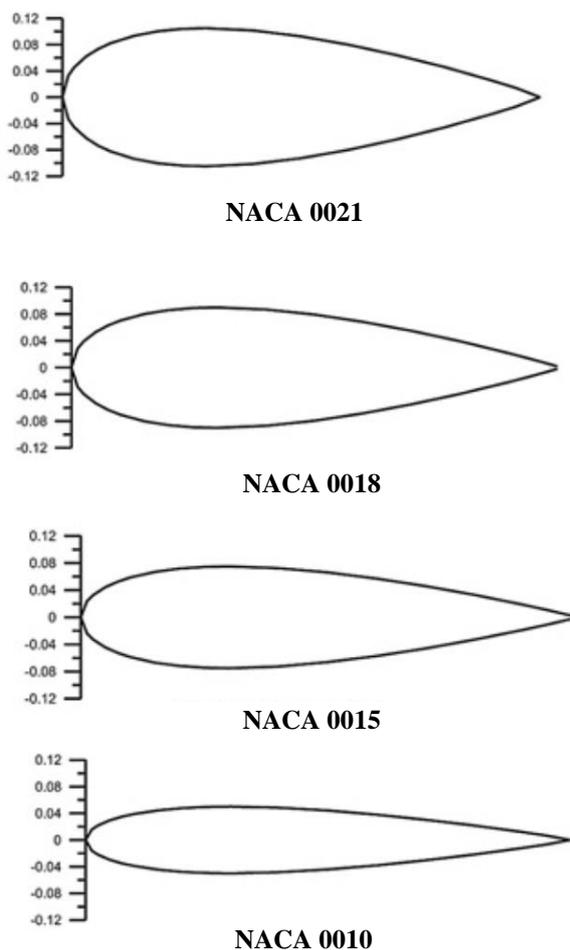
William Beans (1987) melakukan analisa desain pada kinerja *aerodynamic* turbin *Darrieus* dengan *multi-blade*. Analisa pada model didasarkan pada asumsi yaitu bentuk *airfoil* dikategorikan dengan mengamati *constant slope* pada kurva gaya *lift* dan *constant value* pada kurva gaya *drag*. Bentuk *blade* dibuat berdasarkan bentuk *circular-arc* dan *straight-line*.



Gambar 5. Perbandingan hasil analisa model dengan turbin *Darrieus* (3 blades)
Sumber: William Beans (1987)

Gambar 5 menunjukkan *coefficient of power* (C_p) dan *tip speed ratio* (λ) hasil analisa model. Performa yang dihasilkan hasil analisa model berada pada daerah (*region*) yang sama dengan turbin *Darrieus* (3 *blades*) lainnya dengan nilai optimum C_p yang lebih baik.

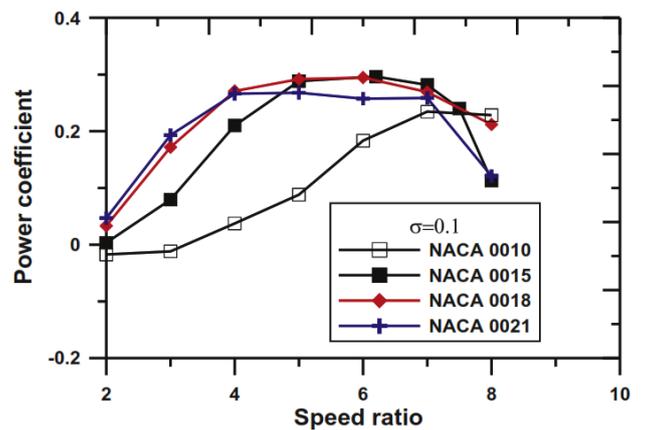
Studi terhadap performa turbin *Darrieus* dengan berbagai bentuk *airfoil* dilakukan oleh Mohamed (2012). Bentuk *airfoil* yang diujikan terbagi atas 2 jenis yaitu *simetric* dan *non-simetric*. Pada *airfoil* dengan bentuk simetris digunakan tipe NACA 0021, NACA 0018, NACA 0015, dan NACA 0010.



Gambar 6. Perbandingan penampang *airfoil* simetris
Sumber: Mohamed (2012)

Gambar 6 merupakan bentuk simetris *airfoil* yang digunakan pada studi turbin angin *Darrieus*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan CFD (*Computational Fluid Dynamics*) untuk melihat perbandingan kinerja *power coefficient* dan *speed ratio* yang dihasilkan

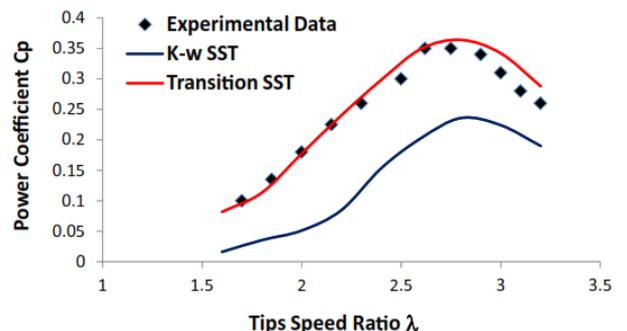
dari masing-masing bentuk *airfoil*.



Gambar 7. Perbandingan kinerja *power coefficient* dan *speed ratio* untuk masing-masing *airfoil*
Sumber: Mohamed (2012)

Gambar 7 menunjukkan kinerja turbin angin *Darrieus* dengan menggunakan *airfoil* bentuk simetris (NACA 0010, NACA 0015, NACA 0018 dan NACA 0021). Pada hasil pengujian, *power coefficient* maksimum yang mampu dicapai NACA 0018 mencapai 0,2964.

Studi Shaheen dan Abdallah (2017) melakukan pengamatan pada konfigurasi posisi penempatan turbin angin *Darrieus* apabila dipasang berdekatan.



Gambar 8. Perbandingan grafik hubungan C_p dan λ hasil data eksperimen dengan hasil numerik
Sumber: Shaheen dan Abdallah (2017)

Gambar 8 menunjukkan hubungan *power coefficient* dan *tip speed ratio* dari hasil perhitungan numerik dengan hasil eksperimen pada turbin angin *Darrieus*. Berdasarkan **Gambar 6**, perhitungan numerik model K-omega SST menghasilkan nilai prediksi yang lebih rendah daripada model *Transition SST* dan hasil data eksperimen. *Power coefficient* (C_p) yang dihasilkan berkisar di 0,345 pada *tip speed ratio* (λ) 2,6.

Parameter perhitungan kinerja Turbin Darrieus

Menurut López *et al.* (2016) kinerja turbin hidrokinetik secara umum dapat diamati melalui karakteristik yang dihasilkan dari kecepatan sudut (ω), *power coefficient* (C_p) dan *tip speed ratio* (λ).

Kecepatan sudut (ω) dapat dikonversi dari nilai rotasi per menit (Febrianto and Santoso, 2017).

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot RPM}{60} \quad (1)$$

Dengan ω adalah kecepatan sudut dan *RPM* adalah Rotasi Per Menit.

Koefisien daya/ *power coefficient* (C_p) didefinisikan sebagai total daya air yang melalui *swept area* turbin (Sahim *et al.*, 2014).

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

Dengan τ adalah torsi, ρ adalah massa jenis air, A adalah *swept area* dan v adalah kecepatan aliran.

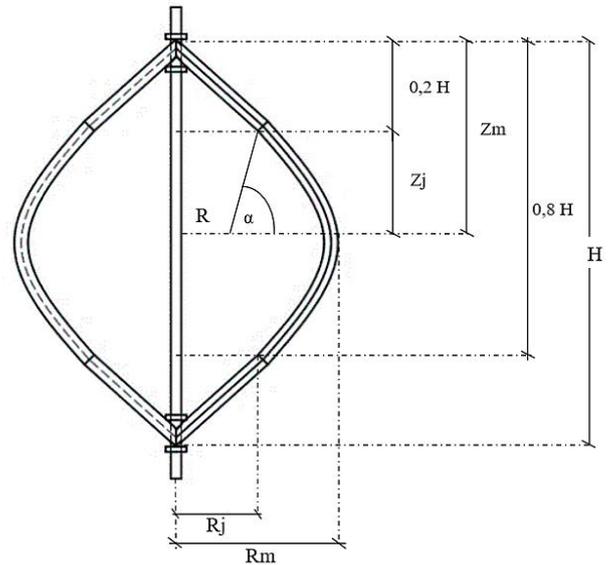
Nilai *tip speed ratio* (λ) adalah perbandingan antara kecepatan tangensial di ujung rotor terhadap kecepatan fluida yang mengalir turbin tersebut. (Hantoro *et al.*, 2018).

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

METODE PENELITIAN

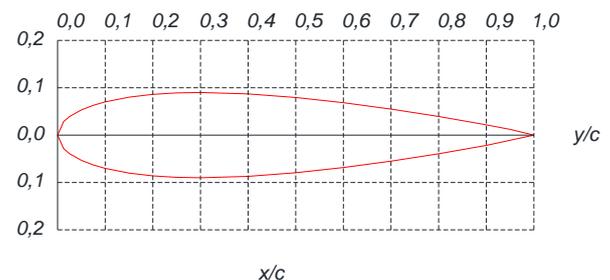
Turbin *Spinning Top Darrieus* merupakan hasil inovasi dan desain dari turbin *Darrieus*. Dasar pembuatan bentuk *Spinning Top Darrieus* terinspirasi berdasarkan bentuk distribusi kecepatan aliran.

Pada studi Simamora dan Nindito (2009) mengenai kajian distribusi kecepatan dijelaskan bahwa mendekati dasar saluran kecepatan aliran mengecil dan semakin meningkat ke arah permukaan. Berdasarkan hal ini kemudian desain dari turbin *Spinning Top Darrieus* dilakukan. Penamaan tersebut berasal dari bentuk distribusi aliran yang menyerupai gasing (*Spinning Top*).



Gambar 9. Dimensi turbin *Darrieus* yang digunakan dalam pengujian

Gambar 9 menunjukkan parameter desain turbin *Darrieus* yang digunakan pada pengujian. Jumlah bilah yang digunakan adalah 2 buah dengan bentuk *profil blade* yaitu NACA 0018. Dari bagian atas ke bawah *blade*, bentuk *straight-line* bagian atas dibuat dari $0H - 0,2H$. Bagian tengah *blade* dibuat bentuk *circular-arc* dengan radius α dari $0,2H - 0,8H$. Bagian bawah $0,8H - 1,0H$, bentuk *blade* dibuat *straight-line*.



Gambar 10. Bentuk profil *blade* NACA 0018 pada desain turbin hidrokinetik dalam pengujian

Bentuk profil NACA 0018 (**Gambar 10**) memiliki bentuk yang simetris. Bentuk *airfoil simetric* menghasilkan kemampuan daya yang lebih tinggi dibandingkan bentuk *non-simetric* (Mohamed, 2012). Hal ini yang menjadi dasar pemilihan jenis profil *blade* tersebut.

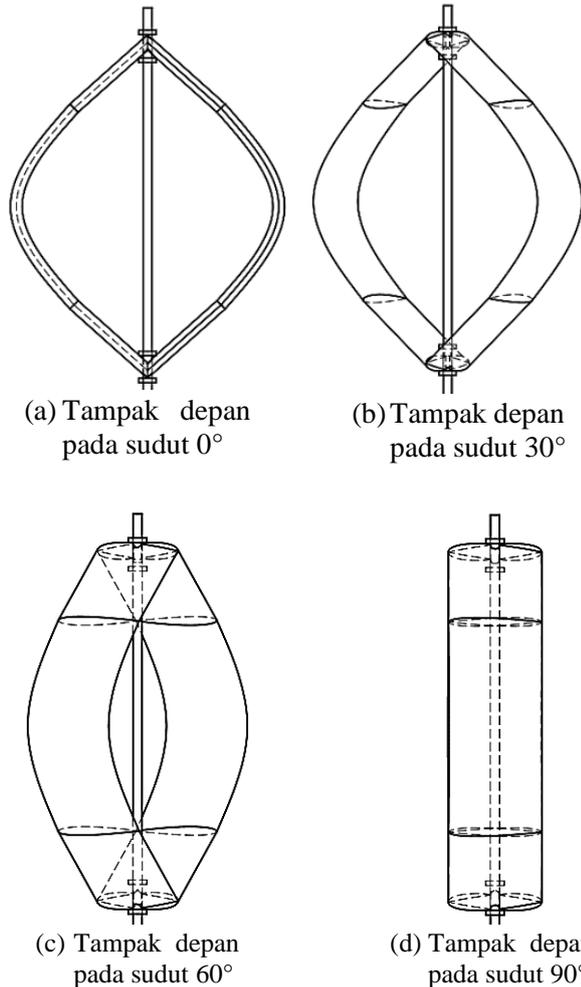
Tabel 1. Dimensi *hidrofoil* NACA 0018

| Turbin | Parameter | Dimensi |
|-----------------|-----------|---------|
| <i>Darrieus</i> | y/c | 1,8 cm |
| | x/c | 10 cm |

Spinning Top Darrieus

| | |
|-------|--------|
| y/c | 1,2 cm |
| x/c | 6 cm |

Tabel 1 menunjukkan parameter dan dimensi yang digunakan pada masing-masing turbin hidrokinetik yang diujikan. Parameter y/c merupakan tebal profil NACA 0018 yang digunakan, sedangkan parameter x/c merupakan panjang *chord* dari *blade*.



Gambar 11. Tampak depan turbin *Darrieus* pada masing-masing sudut.

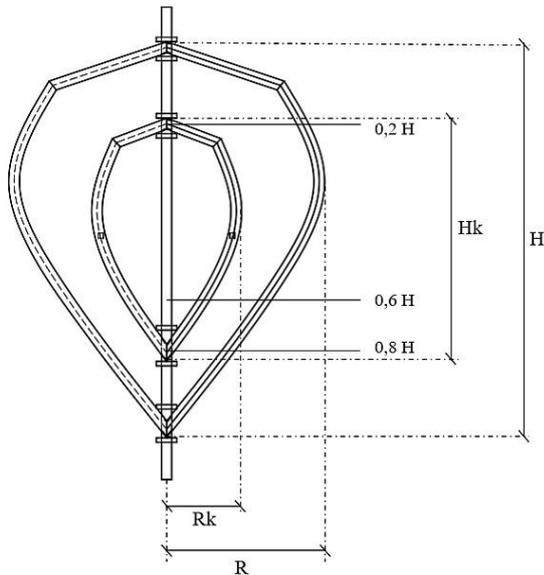
Gambar 11 menunjukkan tampak depan dari desain turbin *Darrieus* pada masing-masing sudut putar. Dari perbandingan tersebut (**Gambar 11**) dapat diamati perbedaan *swept area* (A) yang dihasilkan pada masing-masing sudut putar turbin. Pada tampak depan sudut 0° merupakan luas tangkapan terkecil dengan hanya sisi depan *blade* saja yang menerima tangkapan aliran. Pada sudut 60° menunjukkan luas tangkapan (*swept area*)

terbesar dengan sisi lebar kedua buah *blade* menerima daya aliran.



Gambar 12. Hasil desain turbin *Darrieus* pada pengujian

Gambar 12 merupakan hasil desain dan pemasangan komponen turbin *Darrieus*. Komponen utama yaitu 2 buah *blade* turbin yang terhubung dengan *shaft* turbin (tiang sumbu) menggunakan pelat besi. *Shaft* berfungsi sebagai fondasi bagi turbin dan menjadi poros putaran turbin.



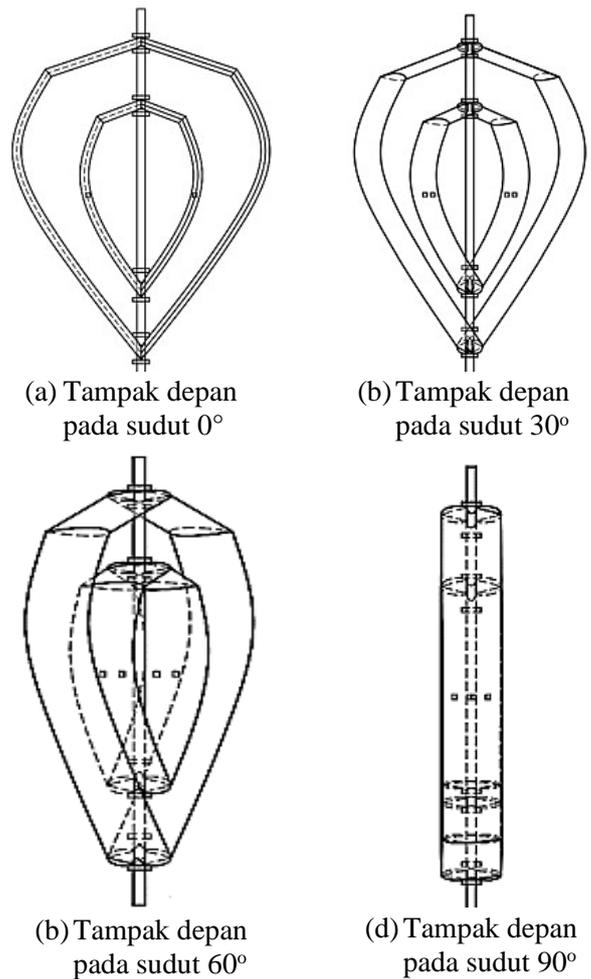
Gambar 13. Inovasi dan parameter desain turbin *Spinning Top Darrieus*

Desain turbin *Spinning Top Darrieus* (**Gambar 13**) memiliki 4 buah *blade* yang terbagi atas bagian dalam dan bagian luar. Komponen utama turbin *Spinning Top Darrieus* terdiri atas 2 buah *blade* pada bagian luar dan 2 buah *blade* tambahan pada bagian dalam. Penambahan jumlah *blade* pada bagian dalam bertujuan menangkap potensi distribusi kecepatan aliran terbesar (tengah penampang).

Tabel 2. Dimensi turbin *Spinning Top Darrieus*

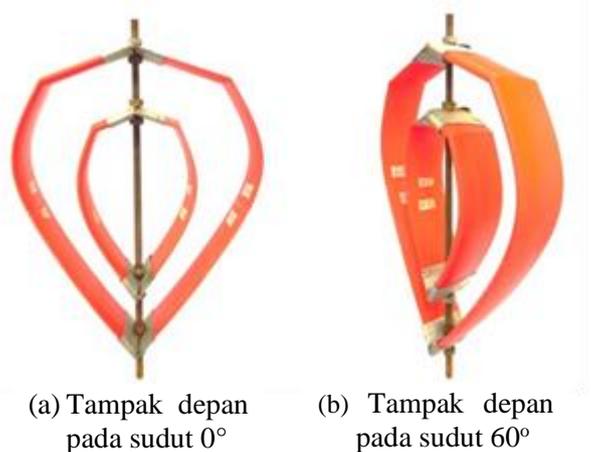
| Parameter | Dimensi |
|--------------|-------------------|
| H | 0,38 m |
| Hk | $\frac{3}{5} H$ |
| R | 0,15 m |
| Rk | $\frac{1}{2,2} R$ |
| Jumlah bilah | 4 buah |

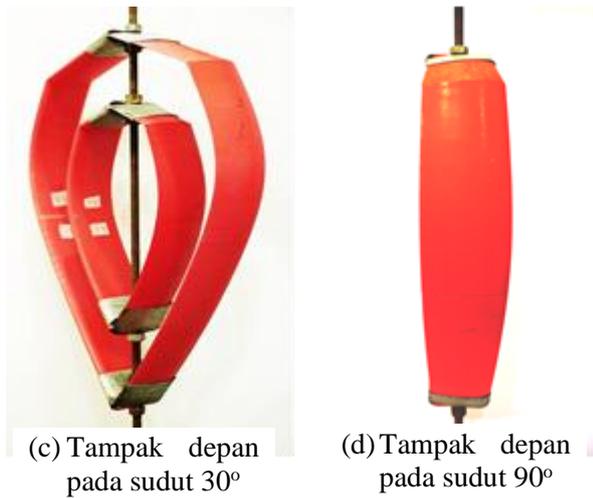
Bentuk *blade* turbin *Spinning Top Darrieus* (**Gambar 13**) dari bagian atas hingga bawah terbagi menjadi 3 bagian. Bentuk *blade* turbin pada range $0H - 0,2H$ dibuat *straight-line*, dilanjutkan menjadi bentuk *circular arc* pada $0,2H - 0,6H$. Bagian bawah *blade* pada $0,6H - 1H$ dibuat bentuk *straight-line*.



Gambar 14. Tampak depan turbin *Spinning Top Darrieus* pada masing-masing sudut putar.

Berdasarkan perbandingan tampak depan pada masing-masing sudut putar turbin *Spinning Top Darrieus* (**Gambar 14**), diketahui bahwa luas tangkapan (*swept area*) yang dihasilkan terjadi akibat tangkapan *blade* bagian luar ditambah dengan bagian dalam.

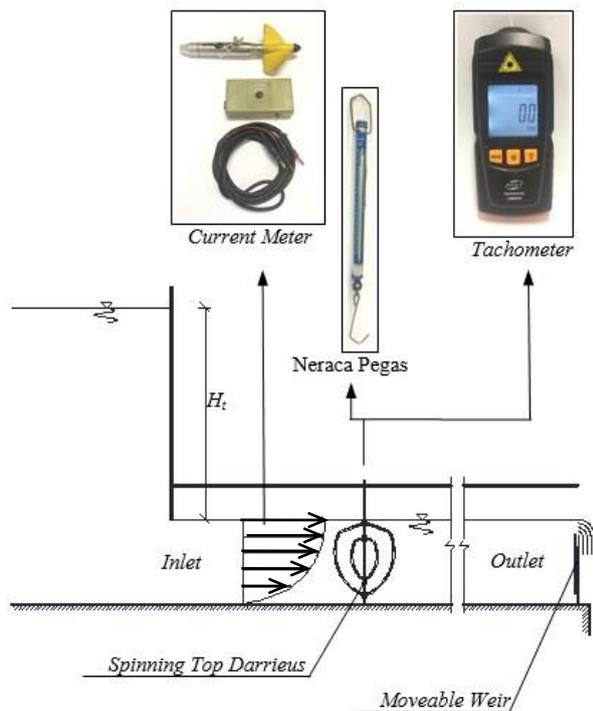




Gambar 15. Hasil desain turbin *Spinning Top Darrieus* pada pengujian

Gambar 15 merupakan hasil desain dan pemasangan komponen turbin *Spinning Top Darrieus*. Komponen utama yaitu 2 pasang *blade* turbin masing yang terhubung dengan *shaft* turbin (tiang sumbu) menggunakan pelat besi. *Shaft* berfungsi sebagai fondasi bagi turbin dan menjadi poros putaran turbin.

Metode pengujian turbin hidrokinetik



Gambar 16. Skema pengujian turbin hidrokinetik pada saluran.

Gambar 16 menunjukkan skema pengujian turbin *Darrieus* dan turbin *Spinning Top Darrieus*. Perbedaan tinggi (H_t) antara muka air tandon dengan saluran menghasilkan tekanan aliran menuju *inlet*. Tekanan aliran yang mengalir menuju turbin menyebabkan putaran awal turbin. Sebelum melakukan pengambilan data, kedalaman saluran diatur pada kondisi *steady* dengan mengatur bukaan pada *movable weir*. Pengukuran data rotasi per menit (*RPM*) diperoleh menggunakan alat *tachometer*, sedangkan pengambilan data torsi (τ) dilakukan dengan mengalikan nilai gaya yang diukur neraca pegas dengan nilai lengan gayanya.

Current meter berfungsi dalam memetakan distribusi kecepatan aliran yang dihasilkan dari pengujian. Hal ini dilakukan dengan cara mengamati kecepatan penampang aliran dari nilai rasio y/D , di mana y adalah posisi kedalaman *current meter* dari dasar saluran dan D adalah kedalaman maksimum saluran.

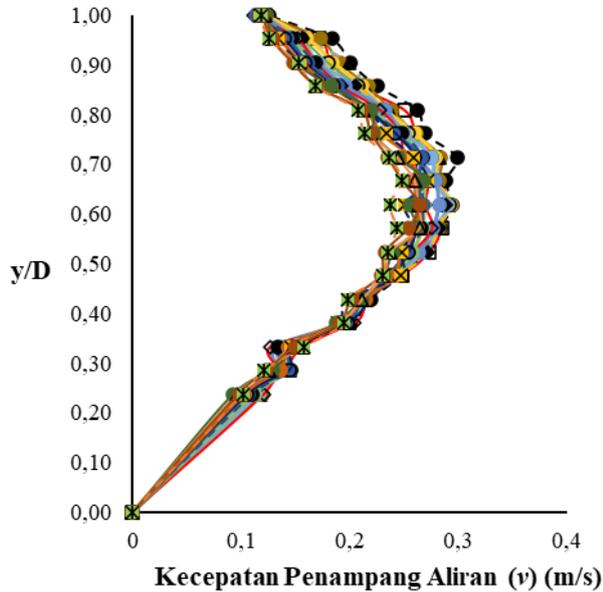


Gambar 17. Tampak depan posisi turbin *Spinning Top Darrieus* pada saluran prismatik (*flume*)

Gambar 17 menunjukkan turbin *Spinning Top Darrieus* yang ditempatkan pada saluran prismatik (*flume*). Pengujian yang dilakukan pada studi ini merupakan perbandingan kinerja antara turbin *Darrieus* dengan turbin *Spinning Top Darrieus* secara eksperimental.

HASIL DAN PEMBAHASAN

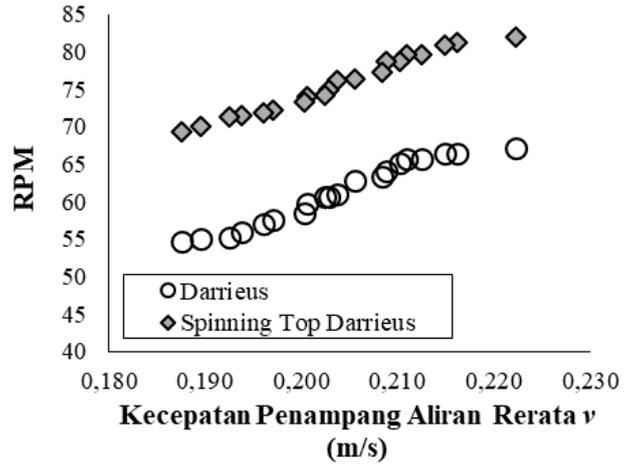
Hasil pengambilan data kecepatan aliran yang dihasilkan oleh saluran prismatic (*flume*) menghasilkan kecepatan aliran (v) 0,188 m/s sampai 0,222 m/s. Profil distribusi aliran dihasilkan dari pengamatan *current meter* pada tiap kedalaman saluran.



Gambar 18. Distribusi kecepatan aliran (v) pada setiap kedalaman

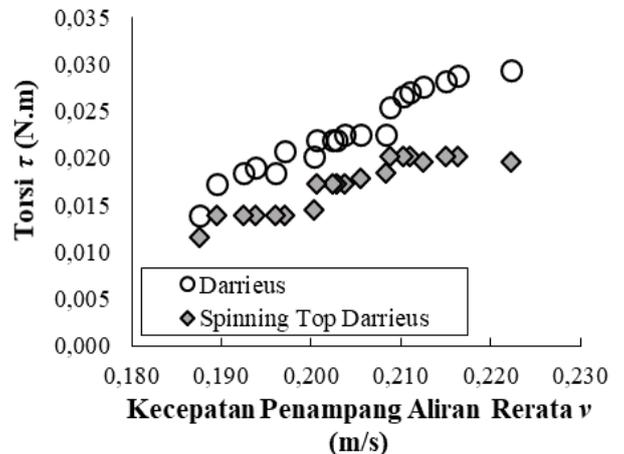
Berdasarkan **Gambar 18**, diketahui bahwa hasil yang ditunjukkan memiliki korelasi dengan hasil studi Nindito, Istiarto dan Kironoto (2009) dan Kironoto dan Walter (1994). Pada dasar saluran kecepatan penampang aliran adalah kecil, kemudian meningkat hingga tengah penampang ($y/D = 0,7$). Kecepatan penampang aliran kemudian menurun menuju ke permukaan. Berdasarkan distribusi kecepatan aliran yang dihasilkan dari pengujian, potensi tangkapan (*swept area*) terbesar terjadi di daerah tengah penampang. Hal ini sejalan dengan tujuan inovasi dan desain yang dilakukan pada turbin *Spinning Top Darrieus*.

Gambar 19 menunjukkan grafik hubungan rotasi per menit (*RPM*) terhadap pengaruh penambahan kecepatan aliran dari 0,188 m/s sampai 0,222 m/s. Turbin *Darrieus* menghasilkan rotasi per menit (*RPM*) 54,59 – 67,90, sedangkan turbin *Spinning Top Darrieus* menghasilkan rotasi per menit (*RPM*) 69,24 – 82,02.



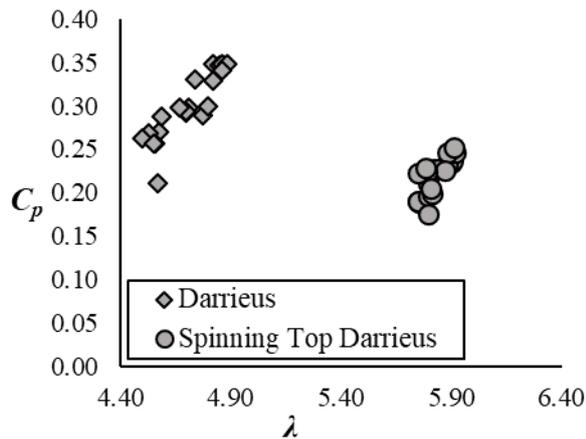
Gambar 19. Grafik *RPM* terhadap kecepatan penampang aliran rerata

Berdasarkan **Gambar 19**, turbin *Spinning Top Darrieus* menghasilkan putaran turbin yang lebih tinggi dibandingkan turbin *Darrieus*.



Gambar 20. Grafik pengaruh torsi pada peningkatan kecepatan penampang aliran rerata.

Gambar 20 menunjukkan hasil pengujian turbin *Darrieus* dan turbin *Spinning Top Darrieus* pada pengambilan data torsi (τ). Turbin *Darrieus* menghasilkan torsi (τ) 0,014 – 0,029 Nm. Turbin *Spinning Top Darrieus* menghasilkan torsi (τ) 0,012 – 0,020 Nm. Berdasarkan perbandingan torsi (τ) yang dihasilkan, turbin *Darrieus* menghasilkan torsi (τ) yang lebih tinggi dibandingkan turbin *Spinning Top Darrieus*. Peningkatan torsi (τ) terhadap penambahan kecepatan penampang aliran rerata pada turbin *Darrieus* lebih tinggi dibandingkan dengan turbin *Spinning Top Darrieus*.

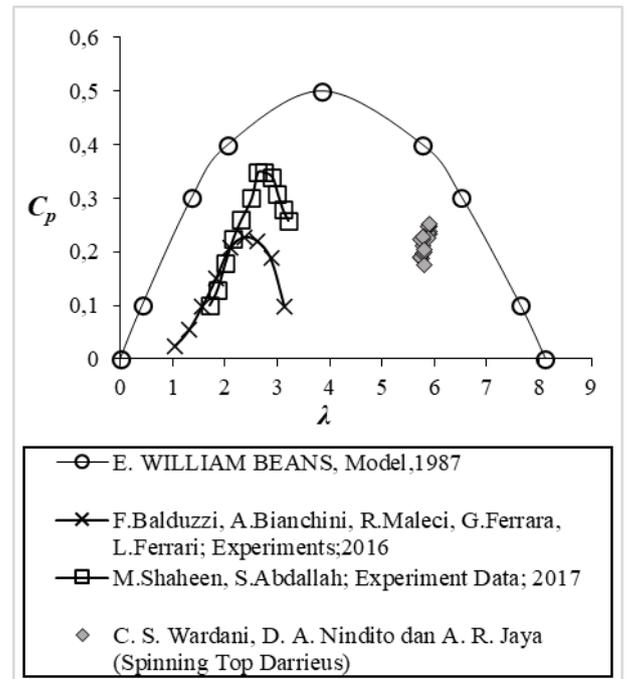


Gambar 21. Perbandingan *coefficient of power* (C_p) dan *tip speed ratio* (λ) antara turbin *Darrieus* dengan *Spinning Top Darrieus*

Gambar 21 menunjukkan grafik performa yang dihasilkan dari pengujian turbin *Darrieus* dengan turbin *Spinning Top Darrieus*. Pengujian turbin *Darrieus* menghasilkan *coefficient of power* (C_p) 0,21 – 0,35 dan *tip speed ratio* (λ) 4,50 – 4,89. Turbin *Spinning Top Darrieus* menghasilkan *coefficient of power* (C_p) dan *tip speed ratio* (λ) masing-masing 0,17 – 0,25 dan 5,75 – 5,92.

Berdasarkan perbandingan performa pengujian turbin pada kecepatan aliran 0,188 m/s – 0,222 m/s (**Gambar 21**), turbin *Spinning Top Darrieus* menghasilkan *tip speed ratio* (λ) yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin *Darrieus*. Berdasarkan **Persamaan 1** dan **Persamaan 3**, dijelaskan bahwa nilai *tip speed ratio* (λ) dipengaruhi oleh kecepatan aliran (v) dan Rotasi Per Menit (*RPM*). **Gambar 19** menunjukkan nilai *RPM* yang dihasilkan dari turbin *Spinning Top Darrieus* lebih tinggi daripada turbin *Darrieus*. Hal ini menunjukkan bahwa desain turbin *Spinning Top Darrieus* meningkatkan pengaruh gaya lift (meningkatkan nilai λ).

Berdasarkan perbandingan *coefficient of power* (C_p) yang ditunjukkan pada **Gambar 21**, turbin *Spinning Top Darrieus* menghasilkan *coefficient of power* (C_p) yang lebih rendah daripada turbin *Darrieus*. Berdasarkan **Persamaan 2**, nilai *coefficient of power* (C_p) berbanding lurus dengan torsi (τ). **Gambar 20** menunjukkan nilai torsi (τ) yang dihasilkan masing-masing turbin. Turbin *Spinning Top Darrieus* menghasilkan torsi (τ) yang lebih rendah daripada turbin *Darrieus*. Hal ini menunjukkan bahwa turbin *Spinning Top Darrieus* menghasilkan laju putaran yang tinggi, akan tetapi memerlukan *self starting* yang tinggi pula untuk melakukan siklus rotasi turbin.



Gambar 22. Perbandingan hasil pengujian turbin *Spinning Top Darrieus* dengan hasil studi sebelumnya.

Berdasarkan **Gambar 22**, turbin *Spinning Top Darrieus* hasil pengujian pada kecepatan aliran 0,188 m/s sampai 0,222 m/s menunjukkan performa *coefficient of power* (C_p) 0,17 – 0,25 dan *tip speed ratio* (λ) 5,75 – 5,92.

Turbin *Spinning Top Darrieus* menghasilkan nilai *range tip speed ratio* (λ) yang sama dengan hasil analisa model turbin pada studi William Beans (1987), namun performa *coefficient of power* (C_p) turbin *Spinning Top Darrieus* lebih kecil.

Desain turbin pada studi Balduzzi *et al.* (2016) merupakan turbin angin *Darrieus*. Perbandingan terhadap turbin *Spinning Top Darrieus* menunjukkan bahwa turbin *Spinning Top Darrieus* yang diujikan pada aliran memerlukan *self starting* lebih tinggi dibandingkan turbin *Darrieus* yang ada pada aliran angin (Balduzzi *et al.*, 2016). Hal ini terlihat dari perbandingan *tip speed ratio* (λ) yang dihasilkan (**Gambar 22**) dengan turbin *Spinning Top Darrieus* menghasilkan *tip speed ratio* (λ) yang lebih tinggi. Performa *coefficient of power* (C_p) turbin *Spinning Top Darrieus* sedikit lebih tinggi dibandingkan turbin angin *Darrieus* pada studi Balduzzi *et al.* (2016).

Perbandingan terhadap desain turbin angin *Darrieus* pada studi Shaheen dan Abdallah (2017) diamati terhadap profil *blade* yang digunakan.

Pada desain turbin Shaheen dan Abdallah (2017) menggunakan NACA 0021, sedangkan pada turbin *Spinning Top Darrieus* menggunakan NACA 0018. Hasil perbandingan performa (**Gambar 22**) menunjukkan bahwa *coefficient of power* (C_p) yang dihasilkan turbin *Spinning Top Darrieus* lebih rendah dari studi Shaheen dan Abdallah (2017), sedangkan *tip speed ratio* (λ) yang dihasilkan lebih tinggi. Pada hasil studi Mohamed (2012) mengenai perbandingan performa masing-masing *airfoil* NACA (**Gambar 4**), hasil performa turbin angin *Darrieus* dengan NACA 0018 dan NACA 0021 menghasilkan pola grafik yang tidak jauh berbeda. Pada perbandingan pengujian antara studi Shaheen dan Abdallah (2017) dengan turbin *Spinning Top Darrieus* (**Gambar 22**) diketahui bahwa dengan profil NACA yang sama, pengujian turbin hidrokinetik yang dilakukan di aliran air menghasilkan *coefficient of power* (C_p) yang lebih rendah daripada pengujian di aliran udara.

PENUTUP

Kesimpulan

Hasil pengamatan terhadap distribusi kecepatan aliran menunjukkan bahwa pada $y/D = 0,0 - 0,4$ kecepatan penampang aliran meningkat dari dasar saluran, kemudian pada bagian tengah ($y/D = 0,5 - 0,7$) merupakan kecepatan penampang aliran optimum. Pada bagian tengah hingga ke permukaan ($y/D = 0,7 - 1,0$) kecepatan penampang aliran mengalami penurunan kecepatan. Potensi tangkapan (*swept area*) terbesar terjadi di daerah tengah penampang (kecepatan penampang aliran terbesar). Hal ini sejalan dengan tujuan inovasi dan desain yang dilakukan pada turbin *Spinning Top Darrieus*.

Turbin *Darrieus* menghasilkan nilai *RPM* dan torsi masing-masing 54,59 – 67,90 dan 0,014 – 0,029 Nm. Turbin *Spinning Top Darrieus* menghasilkan nilai *RPM* dan torsi masing-masing 69,24 – 82,02 dan 0,012 – 0,020 Nm. Turbin *Spinning Top Darrieus* menunjukkan putaran turbin yang lebih tinggi dibandingkan turbin *Darrieus*, akan tetapi torsi yang dihasilkan lebih rendah.

Turbin *Darrieus* menghasilkan *coefficient of power* (C_p) 0,21 – 0,35 dan *tip speed ratio* (λ) 4,89 – 4,50. Turbin *Spinning Top Darrieus* dengan profil *blade* NACA 0018, menghasilkan *coefficient of power* (C_p) 0,17 – 0,25 dan *tip speed ratio* (λ) 5,75 – 5,92. Turbin *Spinning Top Darrieus*

menghasilkan performa *coefficient of power* (C_p) yang sama baiknya dengan turbin *Darrieus* yang diujikan pada aliran angin. Desain turbin *Spinning Top Darrieus* menghasilkan pengaruh gaya *lift* yang meningkat. Hal ini dapat dilihat pada *tip speed ratio* (λ) yang dihasilkan, turbin *Spinning Top Darrieus* memerlukan *self starting* yang tinggi untuk memulai gerak rotasi.

Saran

Pada studi berikutnya pengujian terhadap turbin *Spinning Top Darrieus* dapat diamati mengenai konfigurasi posisi *blade* apabila dilakukan dengan bentuk menyilang (*cross section*). Pengamatan dapat pula dilakukan dengan melihat pengaruh profil *blade* bentuk simetris (NACA 0021, NACA 0015 dan NACA 0010). Diharapkan pengujian dapat diujikan pada profil distribusi kecepatan dengan *range* yang bervariasi untuk melihat performa yang dihasilkan pada bentuk yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Balduzzi, F. *et al.* (2016) ‘Critical Issues in The CFD Simulation Of Darrieus Wind Turbines’, *Renewable Energy*, 85, pp. 419–435.
- Behrouzi, F., Maimun, A. and Nakisa, M. (2014) ‘Review of Various Designs and Development in Hydropower Turbines’, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 8(2), pp. 293–297.
- Febrianto, A. and Santoso, A. (2017) ‘Analisa Perbandingan Torsi dan RPM Turbin Tipe Darrieus Terhadap Efisiensi Turbin’, *Jurnal Teknik ITS*, 5(2).
- Hantoro, R. *et al.* (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).
- Khan, M. J., Iqbal, M. T. and Quaicoe, J. E. (2006) ‘Design Considerations of A Straight Bladed Darrieus Rotor for River Current Turbines’, *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, 3(2), pp. 1750–1755.
- Kironoto, B. A. and Walter H. Graf (1994) ‘Turbulence Characteristics in Rough Uniform Open-Channel’, in *Proc. Instn Civ. Engrs Wat., Marif. & Energy*, pp. 333–334.
- López, O. *et al.* (2016) ‘Computational Study of Transient Flow Around Darrieus Type Cross

- Flow Water Turbines’, *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 8(1).
- Mohamed, M. H. (2012) ‘Performance Investigation of H-Rotor Darrieus Turbine with New Airfoil Shapes’, *Energy*, 47(1), pp. 522–530.
- 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 (Program Studi Teknik Sipil)*, pp. 8–15.
- Nindito, D. A., Istiarto, I. and Kironoto, B. (2009) ‘Simulasi Numeris Tiga Dimensi Kantong Lumpur Bendung Sapon’, *Forum Teknik Sipil*.
- Nindito, D. A. and Kamiana, I. M. (2010) ‘Perencanaan Model PLTA Skala Kecil Berbasis Teknologi Lokal di Daerah Pemukiman Tepi Sungai’, *PROTEKSI*, 2, pp. 1–7.
- Sahim, K. *et al.* (2014) ‘Experimental Study of Darrieus-Savonius Water Turbine with Deflector: Effect of Deflector on The Performance’, *International Journal of Rotating Machinery*, 2014.
- Shaheen, M. and Abdallah, S. (2017) ‘Efficient Clusters and Patterned Farms for Darrieus Wind Turbines’, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 19, pp. 125–135.
- Simamora, Y. and Nindito, D. A. (2009) ‘Kajian Profil Distribusi Kecepatan dan Distribusi Konsentrasi Sedimen Suspensi untuk Kondisi Aliran Seragam Terhadap Lokasi Pengambilan Sampel Sedimen Arah Transversal’, *Rekayasa Rancang Bangun*, 10, pp. 17–26.
- Torresi, M., Fortunato, B. and Camporeale, S. M. (2013) ‘An Efficient 3D CFD Model For The Analysis Of The Flow Field Around Darrieus Rotors’, in *Proceedings of ASME Turbo Expo 2013: Turbine Technical Conference and Exposition*, pp. 1–14.
- Wang, Y. *et al.* (2016) ‘Effect of blade vortex interaction on performance of Darrieus-type cross flow marine current turbine’, *Renewable Energy*, 86, pp. 316–323.
- William Beans, E. (1987) ‘Approximate Aerodynamic Analysis for Multi-Blade Darrieus Wind Turbines’, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 25(2), pp. 131–150.
- Yuce, M. I. and Muratoglu, A. (2015) ‘Hydrokinetic Energy Conversion Systems: A Technology Status Review’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, pp. 72–82.