

PENGARUH KEMIRINGAN STRAIGHT BLADE TERHADAP PENINGKATAN KEMAMPUAN SELF-STARTING TURBIN HIDROKINETIK ARTICULATING H-ROTOR

Desy Rianti¹, Dwi Anung Nindito², Raden Haryo Saputra³

Universitas Palangka Raya, Indonesia

DOI: <http://dx.doi.org/10.26623/teknika.v14i2.kodeartikel>

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Disubmit 31-08-2021

Publish 30-12-2021

Keywords:

articulating h-rotor; hydrokinetic; self-starting; flow velocity distribution

Abstrak

Articulating H-Rotor merupakan pengembangan turbin H-Darrieus yang memiliki *straight blade* miring dengan tujuan memperbaiki *self-starting* yang buruk karena dominasi gaya angkat (*lift*). Seberapa besar pengaruh kemiringan *straight blade* terhadap performa turbin menjadi penting diteliti. Studi ini bertujuan mengetahui pengaruh kemiringan *straight blade* turbin Articulating H-Rotor untuk mendongkrak kemampuan *self-starting*. Metode uji eksperimental turbin hidrokinetik dilakukan di saluran air (*flume*) menggunakan 3 blade profil NACA0018 dengan memvariasi kemiringan sudut 0° (*blade* vertikal), 30° (*blade* mengembang) dan -30° (*blade* menguncup). Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor dengan kemiringan *blade* 0° memiliki nilai RPM yang lebih besar dan lebih dominan bekerja dengan gaya *lift*. Turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor dengan kemiringan *blade* 30° menghasilkan torsi yang lebih tinggi dan menambah gaya seret (*drag*) sehingga meningkatkan *self-starting* untuk berotasi. Bentuk luas bidang tangkap turbin dengan kemiringan *blade* 30° lebih mampu merespon energi kinetik yang ditimbulkan dari profil distribusi kecepatan aliran air. Hasil studi ini bisa memberi kontribusi dalam mendesain turbin H-Darrieus *blade* miring.

Abstract

The Articulating of H-Rotor is a development of the turbine from H-Darrieus which has a straight blade tilted with the aim of correcting poor self-starting due to the dominance of lift force. How likely is the influence of straight blade slope on turbine performance and it is important to be examined. This article describes the effect of straight blade slope of the Articulating H-Rotor turbine to increase the self-starting ability. Hydrokinetic turbine experimental test method was carried out in a water channel (flume) using 3 NACA 0018 profile blades with varying inclination angles of 0° (vertical blade), 30° (inflated blade) and -30° (cupped blade). The result indicated that the Articulating H-Rotor hydrokinetic turbine with a blade slope of 0° had a larger RPM value and it was more dominant in working with lift force. The Articulating H-Rotor hydrokinetic turbine with a blade tilted of 30° provides higher torque and increases drag, increasing self-starting for rotation. The shape of the turbine frontal area with a blade slope of 30° was better able to respond the kinetic energy that raised from the flow velocity distribution profile of the water flow. The results of this study can be used as a guide to the design of the tilted blade H-Darrieus turbine.

✉ Alamat Korespondensi:
E-mail: dwi_anungnindito@eng.upr.ac.id

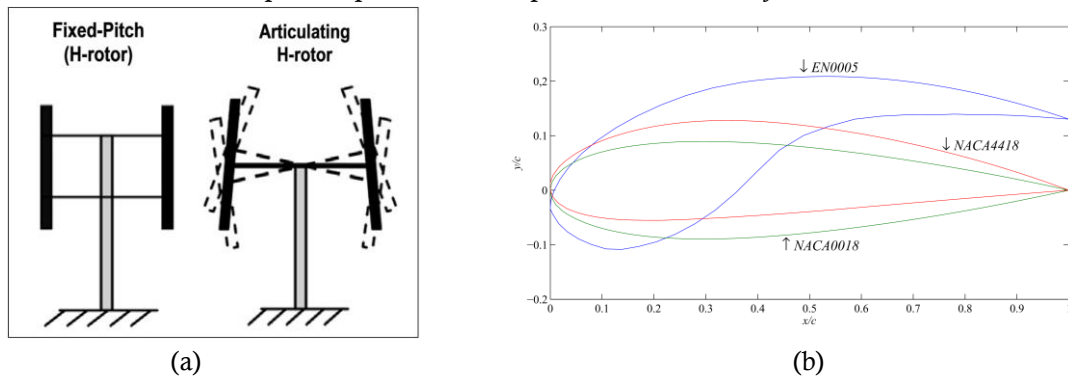
PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang berpotensi besar untuk menggunakan pembangkit listrik tenaga mikrohidro karena memiliki banyak sungai serta curah hujan yang tinggi (Erinofiardi, dkk. 2017; Edy Susilo, dkk. 2017). Hidrokinetik merupakan salah satu konversi energi dari aliran air seperti sungai, saluran buatan dan arus laut (Khan, dkk. 2009; Yohanes, dkk. 2014). Pemanfaatan energi hidrokinetik dilakukan oleh turbin *low head* berjenis hidrokinetik yang memiliki kriteria desain dengan portabilitas baik, biaya murah, bertahan lama, dengan perawatan yang mudah (Tanier-Gesner, dkk. 2014) serta dapat digunakan sebagai PLTA yang berbasis teknologi lokal dengan skala kecil (Nindito & Kamiana, 2010). Turbin hidrokinetik memiliki tiga tipe yakni *Horizontal Axis Turbine* (HAT), *Cross Flow Turbine* dan *Vertical Axis Turbine* (VAT). Jenis turbin hidrokinetik tipe HAT, seperti Archimedes Spiral dengan penambahan ekor pengarah dan *truncated cone* (Pratama, dkk. 2020). Jenis turbin tipe VAT, seperti Darrieus, Spinning Top Darrieus (Wardani, dkk. 2020), H-Darrieus, Turbin DNA yang merupakan pengembangan turbin Gorlov (Antomo, dkk. 2020), Savonius dan turbin Tornado Savonius (Yudistira, dkk. 2021a) yang terinspirasi dari bentuk profil kecepatan air (Nindito, dkk. 2008). H-Darrieus merupakan jenis turbin dengan bilah lurus (*straight blade*) yang kemudian berkembang menjadi turbin Articulating, Tilted dan Helical H-rotors (Tjiu, dkk. 2015).

Turbin H-Darrieus sumbu vertikal bekerja dengan menggunakan gaya angkat (*lift*) (ed-Din Fertahi, dkk. 2018), tidak seperti turbin Savonius yang dominan menggunakan gaya seret (*drag*) (Yudistira, dkk. 2021b). Pembentukan koefisien *lift* dan *drag* tergantung bilangan Reynolds dan sudut serang pada turbin (Patel, dkk. 2017). Turbin H-Darrieus memiliki kelemahan berupa *self-starting* yang buruk. *Self-starting* merupakan kemampuan turbin berakselerasi dari diam ke kondisi *Tip Speed Ratio* secara kontinu di jalur rotasi (Worasinchai, dkk. 2016). Turbin memiliki kemampuan *self-starting* jika dapat berakselerasi ke kecepatan gerak bebasnya sehingga dapat mengikuti kurva torsi (atau daya) yang sesuai pada kondisi kecepatan aliran tetap (Bianchini, dkk. 2016). Upaya untuk meningkatkan *self-starting* turbin Darrieus telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Scungio, dkk. (2016) menambah *blade* turbin konvensional sehingga menjadi dua *airfoil* di tiap pasangan bilahnya. Octauria, dkk. (2021) dan Ichsan, dkk. (2021) menambahkan *Omni Directional Guide Vanes* (ODGV) untuk memusatkan arah aliran menuju bilah turbin sehingga *self-starting* meningkat dengan mekanisme pengaliran merujuk pada studi Shimokawa, dkk. (2012). Profil *blade* dan desain turbin yang tepat terbukti mampu menambah gaya seret sehingga meningkatkan kemampuan *self-starting* walaupun tanpa komponen tambahan (Batista, dkk. 2015). Profil *blade* menggunakan *airfoil* NACA0018 memiliki karakteristik mampu melakukan *self-starting* (Asr, dkk. 2016) dan mengurangi *torque ripples* pada turbin (Nakashima, dkk. 2016). Semakin tebal *airfoil* yang digunakan maka semakin tinggi koefisien *drag*, sehingga memberi karakteristik *self-starting* yang lebih baik pula (Arab, dkk. 2017). Performa turbin hidrokinetik ditunjukkan oleh parameter *Coefficient of Power* (C_p) dan nilai *Tip Speed Ratio* (TSR). Dai, dkk. (2011) menguji model pada turbin hidrokinetik H-Darrieus dengan menggunakan NACA0025 dan $\sigma = 0,98$, menghasilkan TSR = 1,94 dan C_p maks = 30,4%. Brusca, dkk. (2015) menggunakan NACA0012, dengan 5 *blade* dan $\sigma = 0,3$ menghasilkan nilai TSR mendekati 3 dan C_p di antara 0,4 - 0,45. Gorle, dkk. (2016) menggunakan NACA0015 dengan 4 *blade*, kecepatan (V_0) = 1 – 3 m/s, menghasilkan TSR = 1,5 – 3,5 dan $C_p = 0,05 - 0,35$. Wang, dkk. (2016) menggunakan NACA0018 dengan 3 *blade*, saat kecepatan aliran 2 m/s menghasilkan TSR = 2,2. Kirke & Lazauskas (2011) menggunakan NACA0018 dengan 3 bilah, $\sigma = 0,3$ menghasilkan $C_p = 0 - 0,5$ dan TSR = 0 – 4,5. *Self-starting* untuk meningkatkan performa turbin H-Darrieus di studi terdahulu dilakukan dengan menambah *blade*, mengkombinasi rotor (turbin hibrid), merubah bentuk profil dan ukuran *blade* serta menambah pengarah aliran.

Articulating H-Rotor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1a merupakan pengembangan turbin H-Darrieus berjenis VAT dengan *straight blade* miring yang diharapkan mampu merespon gaya fluida yang mengenai *airfoil* turbin (Bruce, dkk. 2010) seperti yang tertera pada Gambar 1b. Namun seberapa besar kemiringan sudut *straight blade* yang optimal dari turbin Articulating H-Rotor untuk

merespon gaya kinetik aliran air hingga kini belum pernah diteliti. Pengaruh sudut kemiringan *straight blade* pada turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor menjadi salah satu solusi untuk meninjau kemampuan *self-starting* yang optimal pada turbin ini. Peningkatan *self-starting* turbin Articulating H-Rotor saat berotasi diharapkan dapat menambah performa turbin menjadi lebih baik.

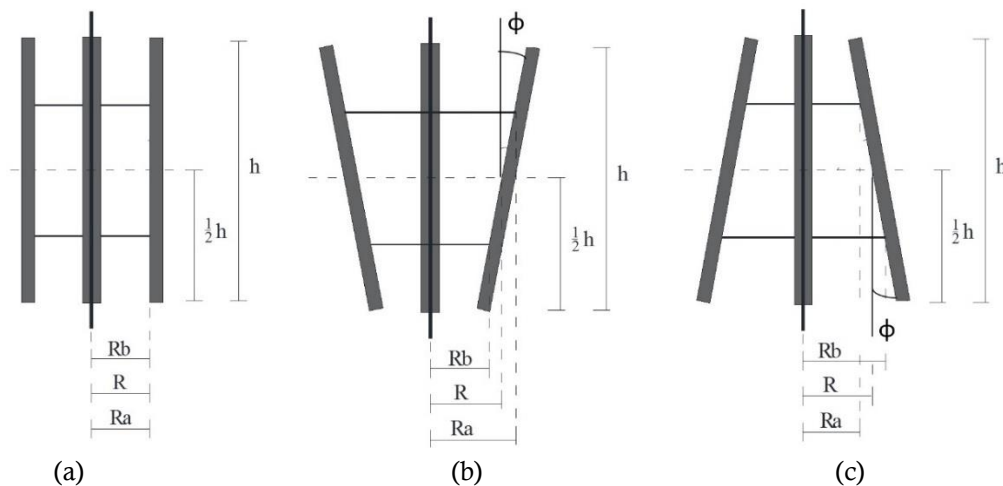


Gambar 1. (a). Perkembangan Rotor Turbin H-Darrieus 5) (b). Bentuk Profil *Airfoil Straight Blade* Simetris dan Tidak Simetris

Sumber: Tjiu, dkk, 2015 dan Batista, dkk, 2015

METODE

Metode pengujian turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor dilakukan secara eksperimental untuk mengetahui kemampuan *self-starting* dan kinerja turbin pada variasi kemiringan sudut *straight blade* tertentu. Variasi kemiringan *straight blade* (ϕ) diujikan pada sudut 0° , 30° dan -30° . Turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor menggunakan 3 *blade* dengan *airfoil* simetris NACA0018. Kriteria Desain Turbin Hidrokinetik ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kriteria Desain Turbin Hidrokinetik; (a) Articulating H-Rotor $\phi = 0^\circ$ (b) Articulating H-Rotor $\phi = 30^\circ$ dan (c) Articulating H-Rotor $\phi = -30^\circ$

Sumber: Tim Peneliti, 2021

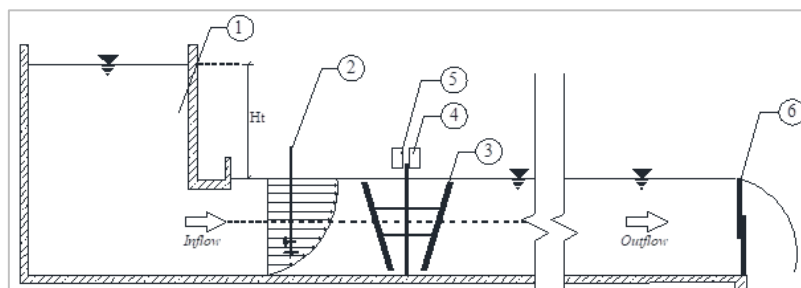
Kriteria desain turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor pada uji eksperimental dengan variasi sudut seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Jari-jari tengah turbin (R) diukur dari setengah tinggi *blade* ($\frac{1}{2}h$). Turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor dengan 3 variasi sudut ini memiliki luas bidang tangkap (A_t) yang sama. Parameter dan dimensi Turbin Hidrokinetik Articulating H Rotor tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter dan Dimensi Turbin Hidrokinetik Articulating H-Rotor yang Diujikan

Parameter	Satuan	Dimensi turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor		
		$\phi = 0^\circ$	$\phi = 30^\circ$	$\phi = -30^\circ$
Jari-jari turbin				
- Atas (Ra)	[m]	0,128	0,182	0,074
- Tengah (R)	[m]	0,128	0,128	0,128
- Bawah (Rb)	[m]	0,128	0,074	0,182
Tinggi lengan <i>blade</i> (H)	[m]	0,32	0,37	0,37
<i>Chord</i> (c)	[m]	0,013	0,013	0,013
Tipe airfoil		NACA0018	NACA0018	NACA0018
Luas bidang tangkap (A_f)	[m ²]	0,082	0,082	0,082
Jumlah <i>blade</i> (n)		3	3	3
Soliditas (σ)		0,3	0,3	0,3

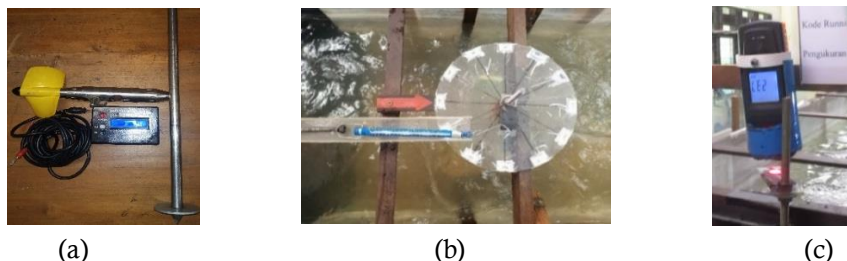
Sumber: Tim Peneliti, 2021

Tabel 1 menunjukkan parameter turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor beserta dimensi yang digunakan. Mekanisme pengujian dilakukan di saluran terbuka berbentuk prisma melalui uji eksperimental yang merujuk pada studi yang dilakukan Shimokawa, dkk. (2012); Bambang Tutuko, dkk. (2018). Gambar 3 merupakan skema pengujian turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor. Gambar 3 (bagian 1) merupakan tandon air yang diisi oleh pompa air dengan variasi debit konstan sehingga elevasi muka air tandon (H_t) tiap percobaan berbeda-beda tingginya. Perbedaan elevasi air di bak penampung (tandon) dengan elevasi muka air di saluran terbuka segi empat (*flume*) menghasilkan kecepatan aliran (v) di *flume* yang bervariasi saat melakukan pengujian. *Movable weir* (bagian 6) berfungsi mengatur elevasi muka air pada saluran *flume* sehingga aliran yang terjadi adalah *steady flow*. Gambar 3 (bagian 2) merupakan tempat pengukuran profil distribusi kecepatan aliran menggunakan alat *current meter*. Gambar 3 (bagian 3) merupakan letak pemasangan turbin di *flume*. Gaya pada turbin (bagian 4) diukur menggunakan neraca pegas yang selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai torsi. Pengukuran Rotasi Per Menit (bagian 5) menggunakan *tachometer*.



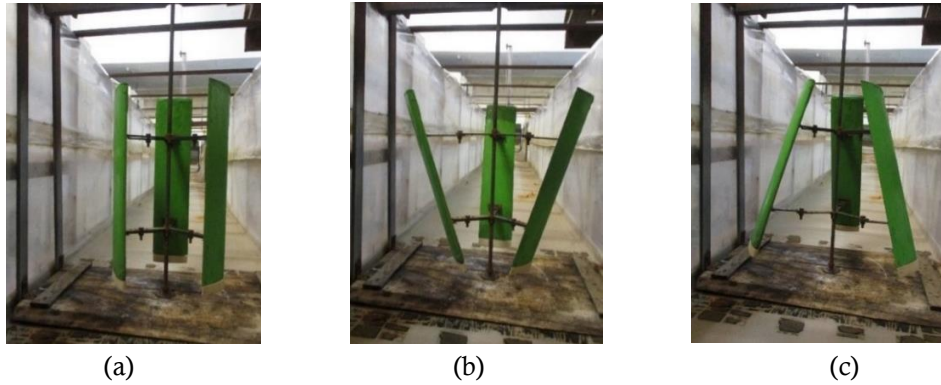
Gambar 3. Skema Uji Eksperimental Turbin Hidrokinetik Articulating H-Rotor di *flume*

Sumber: Tim Peneliti, 2021



Gambar 4. Peralatan yang Digunakan (a) *Current Meter* (SEBA F1519) dan *Digital Counter* (BBE-CNT001), (b) Neraca Pegas, (c) *Tachometer* (GM8905)

Sumber: Tim Peneliti, 2021



Gambar 5. Turbin hidrokinetik; (a) Articulating H-Rotor $\phi = 0^\circ$, (b) Articulating H-Rotor $\phi = 30^\circ$, dan (c) Articulating H-Rotor $\phi = -30^\circ$
 Sumber: Tim Peneliti, 2021

Gambar 4 menunjukkan peralatan yang digunakan dalam uji eksperimental dan Gambar 5 menunjukkan perletakan turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor menggunakan 3 *blade* dan 3 variasi kemiringan sudut *straight blade*. Ukuran *flume* yang digunakan yaitu lebar $L_f=0,6\text{m}$, tinggi $H_f=0,6\text{m}$ dan kedalaman aliran saat pengujian $H_a=0,43\text{m}$.

Paramater geometri turbin hidrokinetik meliputi soliditas dan Aspek Ratio (AR). Soliditas turbin merupakan parameter utama untuk menentukan geometri turbin sumbu vertikal seperti ditunjukkan pada persamaan (1):

$$\sigma = \frac{N \cdot c}{\pi \cdot D} \quad (1)$$

Berdasarkan persamaan (1), soliditas merupakan perbandingan antara perkalian jumlah bilah (N) dan panjang *chord* (c) [m] dengan diameter turbin (D) [m].

Aspek Rasio rotor *Vertical Axis Turbine* didefinisikan sebagai rasio antara tinggi *blade* (H) [m] dan diameter rotor (D) [m] seperti pada persamaan (2):

$$AR = \frac{H}{D} \quad (2)$$

Nilai Rotasi Per Menit (RPM) terukur dapat digunakan untuk mendapatkan nilai kecepatan sudut (ω) [rad/s] pada turbin, seperti pada persamaan (3):

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot RPM}{60} \quad (3)$$

Parameter kinerja turbin ditunjukkan oleh *Tip Speed Ratio* (TSR) dan nilai *Power of Coefficient* (C_p). *Tip Speed Ratio* didefinisikan sebagai rasio antara kecepatan tangensial di ujung bilah turbin dengan kecepatan aliran seperti tertera pada persamaan (4):

$$TSR = \lambda = \frac{r \cdot \omega}{V} \quad (4)$$

V adalah kecepatan aliran air [m/s], dan r adalah jari-jari rotor turbin [m].

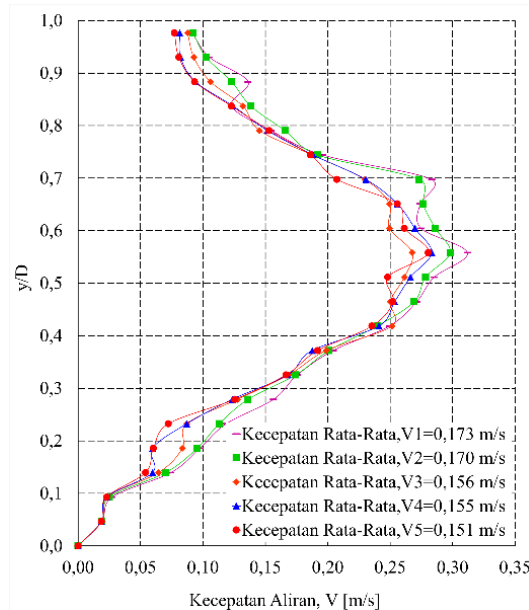
Power of Coefficient (C_p) merupakan perbandingan antara daya turbin dengan daya air menurut persamaan (5):

$$C_p = \frac{P_{turbin}}{P_{Available}} = \frac{\tau \omega}{0.5 \rho A V^3} \quad (5)$$

P adalah daya (watt), ρ adalah massa jenis [kg/m^3], τ adalah torsi [N.m] dan A adalah luas bidang tangkap [m^2].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran kecepatan aliran tiap variasi *running* percobaan uji ekeperimental disajikan dalam sebuah grafik profil kecepatan aliran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Distribusi Kecepatan Aliran ketika Pengujian Eksperimental di Saluran *Flume*
Sumber: Data Primer yang Diolah Tim Peneliti, 2021

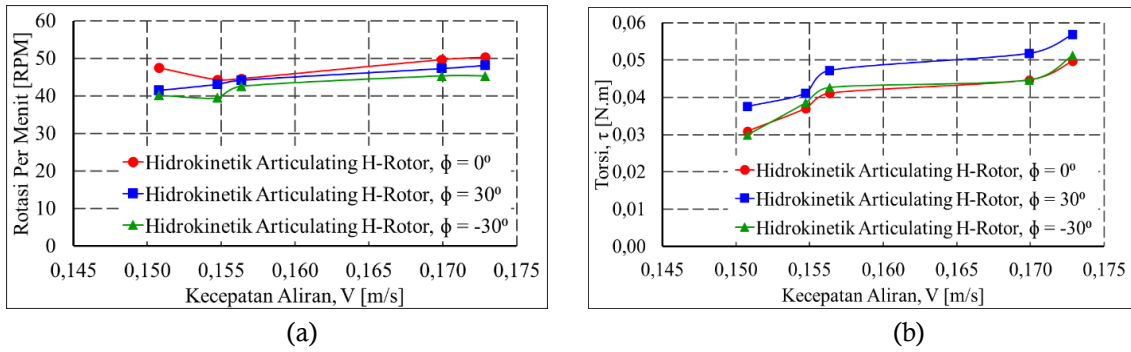
Berdasarkan profil distribusi aliran yang ditunjukkan Gambar 6 diperoleh bahwa nilai kecepatan aliran akan mengecil saat mendekati dasar saluran dan meningkat saat mendekati tengahampang saluran di $(y/D) = 0,55$ dimana y adalah titik pengukuran kecepatan dan D adalah kedalaman aliran. Nilai kecepatan kemudian menurun saat mendekati permukaan aliran. Kecepatan rerata (V_1) memiliki kecepatan yang tertinggi dan semakin menurun berturut-turut hingga V_5 . Tabel 2 menunjukkan hasil perhitungan dan perbandingan uji eksperimental berupa nilai torsi, *Coefficient of Power*, RPM dan *Tip Speed Ratio* pada 3 variasi sudut *straight blade* turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor.

Tabel 2. Perbandingan RPM, *Coefficient of Power*, Torsi dan *Tip Speed Ratio* Turbin Hidrokinetik Articulating H-Rotor pada kemiringan sudut 0° , 30° dan -30°

Variasi	Torsi [Nm]	Rotasi Per Menit	C_p	TSR
$\phi = 0^\circ$	0,030 – 0,049	44,30 – 50,33	0,067 – 0,188	3,827 – 4,226
$\phi = 30^\circ$	0,038 – 0,057	41,53 – 48,20	0,090 – 0,238	3,693 – 3,795
$\phi = -30^\circ$	0,031 – 0,052	39,48 – 45,30	0,072 – 0,203	3,421 – 3,649

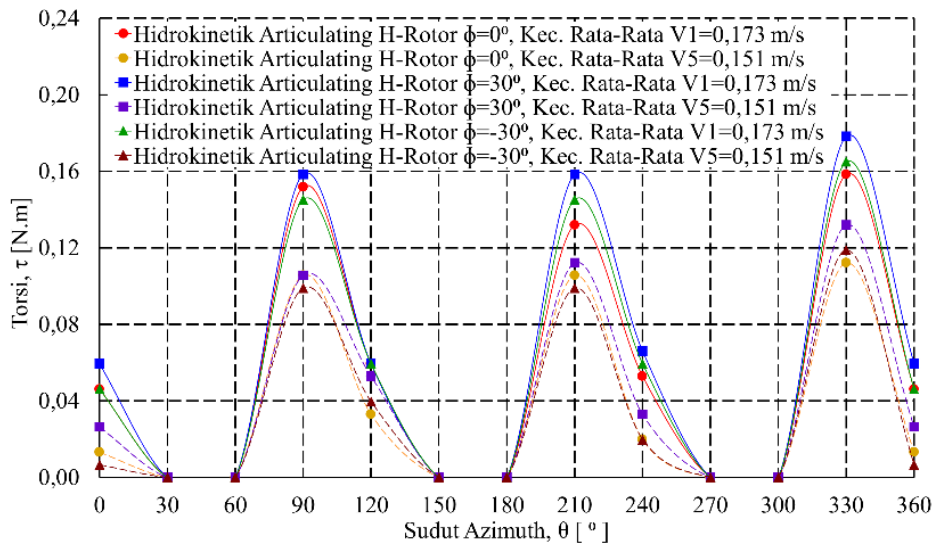
Sumber: data primer yang diolah tim peneliti, 2021

Hasil grafik hubungan antara kecepatan aliran dan Rotasi Per Menit (RPM) pada turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor ditunjukkan pada Gambar 7a. Berdasarkan grafik hubungan antara kecepatan aliran (V) dan Rotasi Per Menit tersebut terlihat bahwa nilai RPM turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor semakin tinggi dengan meningkatnya kecepatan aliran. Nilai RPM turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor saat $\phi = 0^\circ$ lebih besar dibandingkan turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor $\phi = 30^\circ$ dan $\phi = -30^\circ$. Desain turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor dengan kemiringan *straight blade* ($\phi = 0^\circ$) memiliki pengaruh gaya *lift* yang lebih tinggi.



Gambar 7. Hubungan Antara Kecepatan Aliran dengan (a) Rotasi Per Menit (RPM) (b)Torsi
 Sumber: data primer yang diolah tim peneliti, 2021

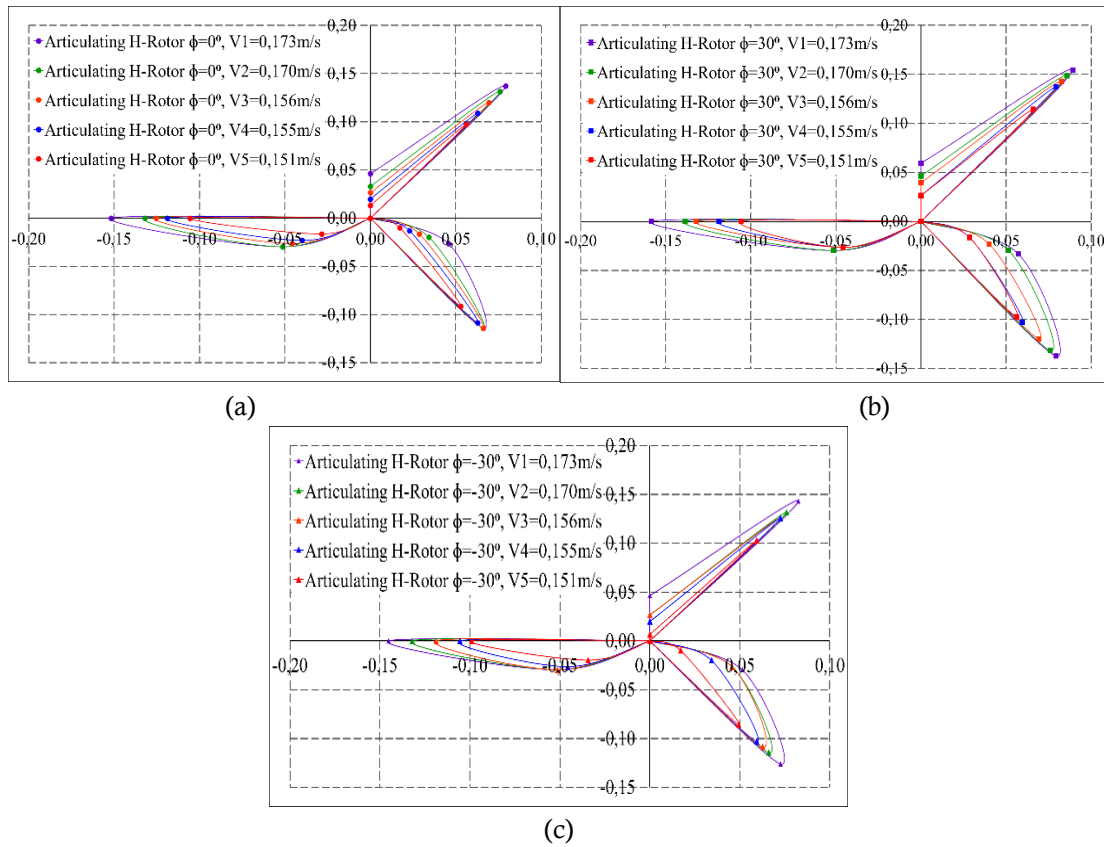
Gambar 7b merupakan grafik hubungan kecepatan aliran (V) dengan torsi pada turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor. Berdasarkan grafik hubungan kecepatan aliran (V) dengan torsi tersebut menunjukkan bahwa meningkatnya kecepatan aliran menyebabkan nilai torsi semakin besar. Nilai torsi saat *straight blade* miring sebesar 30° lebih besar (lebih meningkat) dibandingkan saat *straight blade* turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor dimiringkan -30° dan 0° . Hal ini menunjukkan bahwa turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor dengan $\phi = 30^\circ$ menghasilkan gaya *drag* yang lebih besar sehingga *self-starting* pada turbin akan meningkat untuk melakukan rotasi. Hasil uji eksperimental hubungan antara nilai torsi di tiap sudut azimuth bisa dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Hubungan Torsi (τ) di Setiap Sudut Azimuth (θ) pada Berbagai Kecepatan (V)
 Sumber: Data Primer yang Diolah Tim Peneliti, 2021

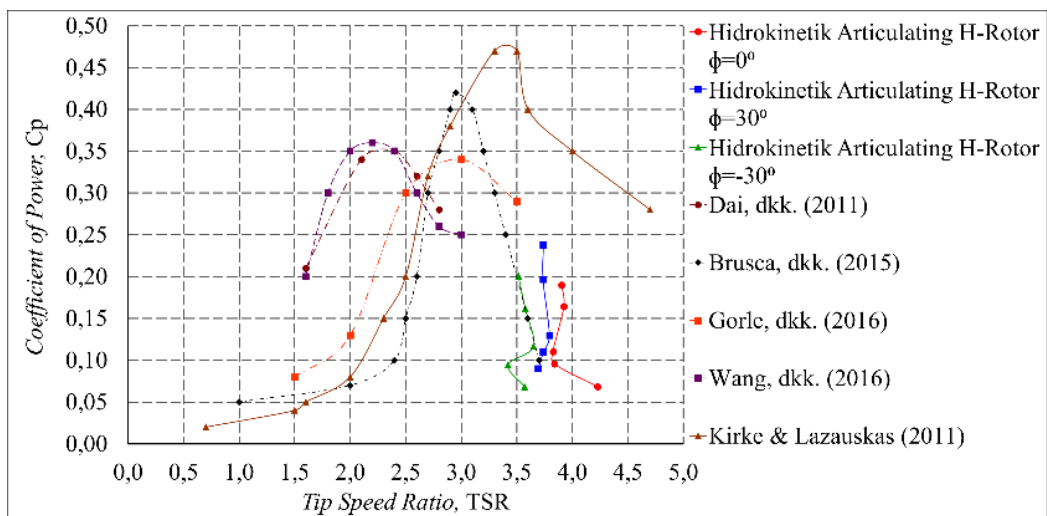
Berdasarkan Gambar 8 yang merupakan grafik hubungan antara torsi (τ) turbin pada tiap sudut azimuth (θ) akibat perubahan kecepatan aliran saat uji eksperimen menunjukkan bahwa nilai torsi meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan aliran pada turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor. Pada hasil pengukuran torsi di sudut pengukuran 0° , 120° dan 140° mengalami penurunan nilai torsi, karena posisi *straight blade* berada sejajar dengan arah aliran. Pada sudut 90° , 210° dan 330° nilai torsi meningkat karena posisi *straight blade* tidak sejajar dengan arah aliran, sehingga membentuk sudut serang yang tepat untuk berotasi. Pada pola grafik terlihat bahwa turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor saat *straight blade* dimiringkan $\phi = 30^\circ$ menunjukkan peningkatan torsi yang lebih tinggi dibandingkan saat *blade* turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor dimiringkan $\phi = 0^\circ$ dan $\phi = -30^\circ$.

Kecepatan aliran dapat mempengaruhi nilai torsi pada turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor. Gambar 9 merupakan grafik torsi yang terjadi di tiap sudut rotasi turbin. Grafik torsi yang dihasilkan ini memiliki 3 lobes rosette sesuai dengan jumlah bilah yang digunakan pada turbin.



Gambar 9. Grafik Torsi dengan 3 Lobes Rosette: (a) Turbin Articulating H-Rotor $\phi = 0^\circ$, (b) Turbin Articulating H-Rotor $\phi = 30^\circ$ dan (c) Turbin Articulating H-Rotor $\phi = -30^\circ$

Sumber: Data Primer yang Diolah Tim Peneliti, 2021



Gambar 10. Hasil Perbandingan Nilai C_p dan TSR Turbin Hidrokinetik Articulating H-Rotor dengan Turbin Hidrokinetik Studi Sebelumnya

Sumber: Data Primer yang Diolah Tim Peneliti, 2021

Berdasarkan persamaan 3 dan persamaan 4 dapat diketahui bahwa perubahan kecepatan aliran dan RPM mempengaruhi hasil *Tip Speed Ratio* (TSR). Grafik hubungan TSR dan C_p yang terjadi pada 3 variasi sudut *straight blade* pada turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor jika dibandingkan dengan studi sebelumnya ditunjukkan pada Gambar 10. Berdasarkan grafik TSR dan C_p menunjukkan bahwa turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor $\phi = 0^\circ$ memiliki nilai *Tip Speed Ratio* (TSR) yang lebih besar dari pada saat *straight blade* turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor dimiringkan $\phi = 30^\circ$, namun memiliki perolehan *Coefficient of Power* (C_p) dengan hasil yang lebih kecil. Selisih C_p yang dihasilkan turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor saat kemiringan *straight blade* $\phi = 0^\circ$ dan $\phi = 30^\circ$ sebesar 26,39% dan TSR menurun sebesar 4,22%. Turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor dengan kemiringan *blade* $\phi = -30^\circ$ menghasilkan C_p yang lebih besar dari pada turbin Articulating H-Rotor $\phi = 0^\circ$. Selisih nilai C_p turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor saat $\phi = 0^\circ$ dan $\phi = -30^\circ$ sebesar 7,84% dan TSR menurun sebesar 9,99%. Uji eksperimental yang dilakukan dalam studi kali ini menggunakan NACA0018 dengan 3 *straight blade* turbin dan memvariasikan sudut bilah $\phi = 0^\circ, 30^\circ, -30^\circ$, menghasilkan $\sigma = 0,3$, TSR = 3,421 – 4,226 dan $C_p = 0,067 - 0,238$ saat diujikan pada rentang kecepatan rerata aliran 0,151 m/s – 0,173 m/s. Dibandingkan dengan pengujian yang dilakukan Dai, dkk. (2011), Brusca, dkk. (2015), Gorle, dkk. (2016) dan Wang, dkk. (2016), turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor memiliki TSR yang tinggi dan C_p yang rendah pada kecepatan aliran yang rendah. Jika dibandingkan dengan uji eksperimental yang dilakukan Kirke & Lazauskas (2011), nilai TSR turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor hampir mendekati namun menghasilkan nilai C_p yang lebih rendah.

SIMPULAN

Uji eksperimental turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor studi ini dilakukan menggunakan profil simetris NACA0018 dengan 3 *straight blade* turbin dan variasi kemiringan sebesar $\phi = 0^\circ, 30^\circ$ dan -30° sehingga diperoleh kemiringan sudut yang mampu meningkatkan *self-starting* turbin. Desain turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor saat *blade* 0° memiliki nilai RPM yang lebih besar sehingga mempengaruhi gaya *lift*. Bentuk proyeksi turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor dengan sudut kemiringan 30° mampu meningkatkan luas tangkap turbin saat aliran air menerpa badan turbin. Bentuk proyeksinya menyerupai bentuk profil distribusi kecepatan aliran yang dihasilkan saat pengujian. Luas tangkap turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor dengan *blade* dimiringkan 30° terbukti mampu menangkap aliran distribusi kecepatan yang memiliki bentuk menyerupai bentuk proyeksi luas tangkap turbin. Hal ini menghasilkan torsi yang lebih besar, akibatnya gaya *drag* yang terjadi pun lebih besar sehingga kemampuan *self-starting* pada turbin menjadi meningkat saat melakukan rotasi. Berdasarkan berbagai variabel pengujian yang telah dilakukan, turbin hidrokinetik Articulating H-Rotor dengan sudut 30° menghasilkan performa yang paling baik.

DAFTAR PUSTAKA

- 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), 159–170
- Arab, A., Javadi, M., Anbarsooz, M., & Moghiman, M. (2017). A Numerical Study on the Aerodynamic Performance and the Self-Starting Characteristics of a Darrieus Wind Turbine Considering its Moment of Inertia. *Renewable Energy*, 107, 1–29
- Asr, M. T., Nezhad, E. Z., Mustapha, F., & Wiriadidjaja, S. (2016). Study on Start-Up Characteristics of H-Darrieus Vertical Axis Wind Turbines Comprising NACA 4-Digit Series Blade Airfoils. *Energy*, 112, 528–537
- Bambang Tutuko, Diah Setyati Budiningrum, (2018). Kajian Aspek Teknis Kapasitas Tampung Sistem Drainase Perumahan Tlogosari Kota Semarang, TEKNIKA, Vol 13. No. 1 [10.26623/teknika.v13i1.1865](https://doi.org/10.26623/teknika.v13i1.1865)
- Batista, N. C., Melício, R., Mendes, V. M. F., Calderón, M., & Ramiro, A. (2015). On a Self-Start Darrieus Wind

- Turbine: Blade Design and Field Tests. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 508–522
- Bianchini, A., Ferrari, L., & Magnani, S. (2016). Start-Up Behavior of a Three-Bladed H-Darrieus VAWT: Experimental and Numerical Analysis. *Proceedings of the ASME Turbo Expo (2011) 1 811-820*, 1, 1–10
- Bruce, E. B., Riversong, D., & Eagle. (2010). *Vertical Axis Wind Turbine with Articulating H-Rotor*. No. US 7,677,862 B2
- Brusca, S., Cucinotta, F., Galvagno, A., Lanzafame, R., Mauro, S., & Messina, M. (2015). Oscillating Water Column Wave Energy Converter by means of straight-bladed Darrieus turbine. *Energy Procedia*, 82, 766–773
- Dai, Y. M., Gardiner, N., Sutton, R., & Dyson, P. K. (2011). Hydrodynamic Analysis Models for the Design of Darrieus-Type Vertical-Axis Marine Current Turbines. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 225(3), 295–307
- Ed-Dîn Fertahi, S., Bouhal, T., Rajad, O., Kousksou, T., Arid, A., El Rhafiki, T., Jamil, A., & Benbassou, A. (2018). CFD Performance Enhancement of a Low Cut-in Speed Current Vertical Tidal Turbine Through the Nested Hybridization of Savonius and Darrieus. *Energy Conversion and Management*, 169(February), 266–278
- Edy Susilo, Bambang Sudarmanto, Bambang Purnijanto (2017). Kajian Empiris Sumur Resapan Pada Tanah Silt, TEKNIKA, Vol. XII No. 2, Oktober 2017: 1-4
- Erinofiardi, 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(December 2016), 316–321
- Gorle, J. M. R., Chatellier, L., Pons, F., & Ba, M. (2016). Flow and Performance Analysis of H-Darrieus Hydroturbine in a Confined Flow: A Computational and Experimental Study. *Journal of Fluids and Structures*, 66, 382–402
- Ichsan, N., Nindito, D. A., & Saputra, R. H. (2021). Uji Eksperimental Pengaruh Dimensi Lebar Rectifier Guide Vanes terhadap Kinerja Turbin Hidrokinetik Savonius. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 7(2), 96–106
- 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
- Kirke, B. K., & Lazauskas, L. (2011). Limitations of Fixed Pitch Darrieus Hydrokinetic Turbines and the Challenge of Variable Pitch. *Renewable Energy*, 36(3), 893–897
- Nakashima, K., Watanabe, S., Matsushita, D., Tsuda, S., & Furukawa, A. (2016). Performance Prediction of Darrieus-Type Hydroturbine with Inlet Nozzle Operated in Open Water Channels. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 49(10), 1–10
- Nindito, D.A, Istiarto, & Kironoto, B. (2008). Simulasi Numeris Tiga Dimensi Kantong Lumpur Bendung Sapon. *Civil Engineering Forum*, XVIII/1, 712–724.
- Nindito, D.A, & Kamiana, I. M. (2010). Perencanaan Model PLTA Skala Kecil Berbasis Teknologi Lokal di Daerah Pemukiman Tepi Sungai. *Jurnal PROTEKSI*, 2(2), 1–7
- 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
- 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
- Pratama, A., Nindito, D. A., & Saputra, R. H. (2021). Studi Eksperimental Sistem Pengarah Aliran Pada Turbin Hidrokinetik Archimedes Spiral. *Jurnal Teknik*, 19(1), 1–11
- 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, 60–70
- 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
- Tanier-Gesner, F., Stillinger, C., Bond, A., Egan, P., & Perry, J. (2014). Design, Build and Testing of a Hydrokinetic H-Darrieus Turbine for Developing Countries. *IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2014-Octob*(October), 1–5

- Tjiu, W., Marnoto, T., Mat, S., & Ha, M. (2015). Darrieus Vertical Axis Wind Turbine for Power Generation I : Assessment of Darrieus VAWT Configurations. *Renewable Energy*, 75, 50–67
- Wang, Y., Sun, X. J., Zhu, B., Zhang, H. J., & Huang, D. G. (2016). Effect of Blade Vortex Interaction on Performance of Darrieus-Type Cross Flow Marine Current Turbine. *Renewable Energy*, 86, 316–323
- 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
- Worasinchai, S., Ingram, G. L., & Dominy, R. G. (2016). The Physics of H-Darrieus Turbine Starting Behavior. *Engineering for Gas Turbines and Power*, 138(June 2016), 1–11
- Yohanes Sandy Setiadi, Wisnu Suharto, Diah setiati B, (2014). Perhitungan Volume Kolam Retensi Muktiharjo Kidul Semarang Berdasarkan Data Curah Hujan Harian Maksimum Kawasan Kali Tenggang, Jurnal TEKNIKA, Vol. 9 No.2
- Yudistira, R., Nindito, D. A., & Saputra, R. H. (2021a). Kinerja Turbin Hidrokinetik Tornado Savonius. *Jurnal Teknik: Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Keteknikan*, 4(2), 181–186
- Yudistira, R., Nindito, D. A., & Saputra, R. H. (2021b). Uji Eksperimental Pengembangan Turbin Hidrokinetik Savonius Berdasarkan Bentuk Profil Distribusi Kecepatan Aliran. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 7(1), 1–11