

Uji Eksperimental Pengaruh Dimensi Lebar Rectifier Guide Vanes terhadap Kinerja Turbin Hidrokinetik Savonius

NUR ICHSAN, DWI ANUNG NINDITO, RADEN HARYO SAPUTRA

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Palangka Raya, Indonesia
Email: dwi_anungnindito@eng.upr.ac.id

ABSTRAK

Karakteristik blade sisi cekung turbin hidrokinetik Savonius yang memiliki nilai torsi negatif mengakibatkan kelemahan berupa efisiensi turbin yang relatif rendah, sehingga diperlukan sistem pengarah aliran berupa rectifier guide vane. Studi ini bertujuan membandingkan performa yang dihasilkan turbin Savonius tanpa guide vanes dan turbin Savonius menggunakan guide vanes dengan memvariasikan lebar rectifier $L=Rt/4$, $L=Rt/2$ dan $L=3Rt/4$, dimana Rt adalah jari-jari turbin. Metode pengujian dilakukan secara eksperimental di saluran prismatic dengan kecepatan aliran 0,111–0,1415 m/s. Hasil studi menunjukkan bahwa penambahan guide vanes dengan variasi lebar rectifier $L=Rt/4$, $L=Rt/2$ dan $L=3Rt/4$ masing-masing menghasilkan peningkatan torsi sebesar 29,9%; 33,3%; dan 36,3%. Turbin Savonius menggunakan guide vanes dengan lebar rectifier $L=3Rt/4$ menghasilkan coefficient of torque (C_t) dan coefficient of power (C_p) yang lebih tinggi dibandingkan variasi lebar rectifier (L) lainnya, sehingga kinerja turbin meningkat.

Kata kunci: coefficient of power, hidrokinetik, savonius, rectifier guide vanes

ABSTRACT

The characteristic of the concave side blade of the Savonius hydrokinetic turbine which has a negative torque value, it leads to the weakness in the form of a relatively low turbine efficiency, thus a flow steering system is needed in the form of a rectifier guide vane. The aim of this study was to compare the performance of the Savonius turbine without guide vanes and the Savonius turbine using guide vanes by varying the width of the rectifier $L=Rt/4$, $L=Rt/2$ dan $L=3Rt/4$, where Rt is the turbine radius. The test method was undertaken experimentally in a prismatic channel with a flow velocity of 0.111–0.1415 m/s. The results of the study pointed out that the addition of guide vanes with variations in the width of the rectifier was $L=Rt/4$, $L=Rt/2$ dan $L=3Rt/4$ and each of them had an increase in torque of 29.9%, 33.3% and 36.3%. The Savonius turbine used guide vanes with a rectifier width of $L=3Rt/4$ and it resulted a higher coefficient of torque (C_t) and coefficient of power (C_p) compared to other variations of rectifier width (L), thus, the performance of turbine increased.

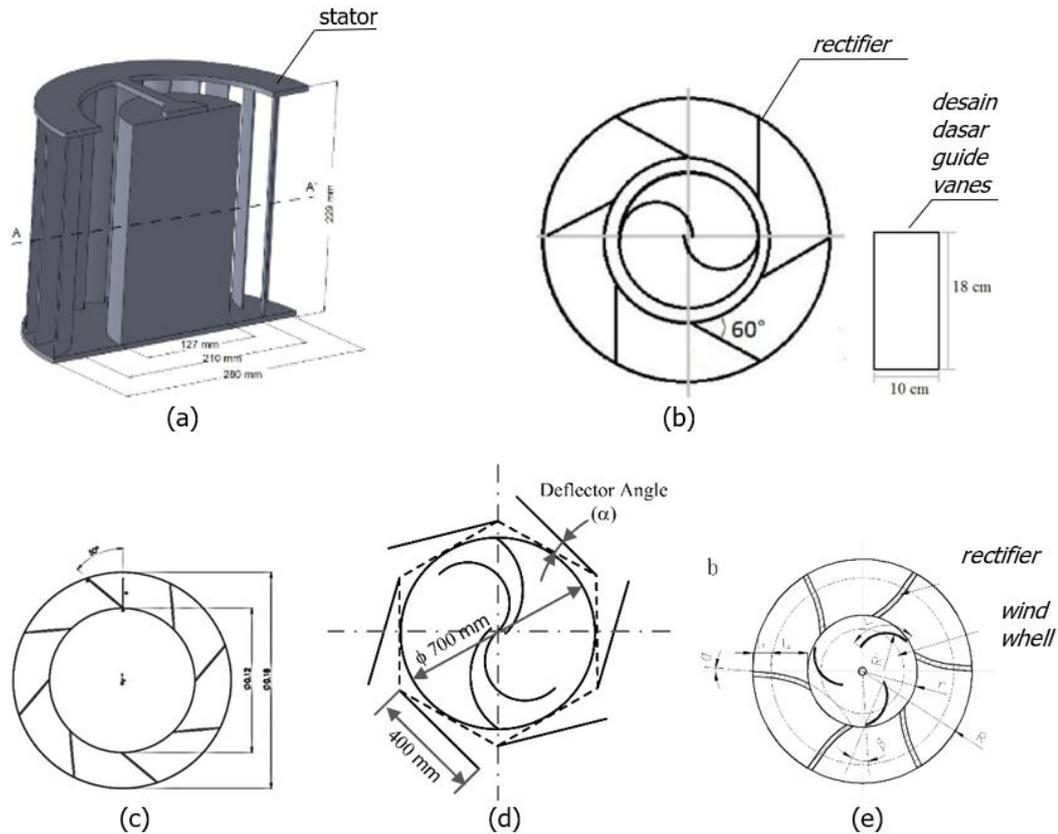
Keywords: coefficient of power, hydrokinetic, savonius, rectifier guide vanes

1. PENDAHULUAN

Permintaan yang terus meningkat terhadap energi listrik merupakan penggerak utama dalam pengembangan teknologi berbasis energi terbarukan. Energi hidrokinetik sangat menjanjikan sebagai sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan. Turbin hidrokinetik dapat dijadikan sebagai teknologi untuk pembangkit listrik skala kecil pada kondisi topografi daerah tepi sungai yang memiliki *head* (tinggi jatuh) rendah (Nindito dan Kamiana, 2010). Turbin hidrokinetik pada umumnya dibagi menjadi 2 jenis, yaitu *Horizontal Axis Turbine* (HAT) dan *Vertical Axis Turbine* (VAT). Jenis-jenis *Vertical Axis Turbine* (VAT), seperti Darrieus, H-Darrieus, *Spinning Top* Darrieus (Wardani, Nindito, dan Jaya, 2020), Gorlov, Turbin DNA (Antomo, Kamiana, dan Nindito, 2020), Savonius dan Tornado Savonius (Yudistira, Nindito, dan Saputra, 2021). Jenis-jenis *Horizontal Axis Turbine* (HAT), seperti Archimedes Spiral dan Archimedes Spiral dengan *truncated cone* dan ekor pengarah (Pratama, Nindito, dan Saputra, 2021).

Turbin Savonius merupakan tipe turbin yang memanfaatkan *drag force* (gaya seret). Karakteristik turbin Savonius memiliki ciri khas sendiri, dilihat dari bentuk pola aliran yang terjadi di sekitar turbin (Kang, Liu, dan Yang, 2014). Turbin Savonius memiliki kelemahan yaitu efisiensi yang relatif rendah karena memiliki karakteristik blade sisi cekung yang memiliki nilai torsi negatif yang cukup tinggi. Berbagai inovasi telah dilakukan untuk meningkatkan performa turbin Savonius, namun inovasi tersebut lebih menekankan pada sisi modifikasi parameter Aspek Rasio (AR), jarak *overlap* dan bentuk *blade*. Yudistira, Nindito, dan Saputra (2021) melakukan studi perubahan bentuk *blade* turbin Savonius dengan bentuk kerucut terpancung yang semakin mengecil ke bagian bawah. Bentuk *blade* yang mengikuti bentuk profil distribusi kecepatan mampu meningkatkan performa turbin terhadap nilai RPM. Upaya lain yang telah dilakukan untuk mengoptimalkan energi hidrokinetik yaitu dengan menggunakan saluran *diffuser-augmented*. Metode tersebut dapat memusatkan aliran dan lebih mempercepat aliran yang berada pada saluran mikro sehingga energi yang diserap oleh turbin meningkat (Elbatran *et al.*, 2015). Roy, Mukherjee, dan Saha (2014) melakukan studi pemanfaatan energi menggunakan turbin Savonius pada kecepatan rendah melalui *wind tunnel* yang menghasilkan peningkatan C_p sebesar 32,3%. Ide pemusatan aliran tersebut juga dilakukan oleh beberapa peneliti dengan menambahkan plat deflektor atau *Omni Directional Guide Vanes* (ODGV) pada turbin. Turbin Savonius dengan sudut pengarah deflektor 0° aliran mampu menghasilkan nilai C_p antara 0,04–0,09 dan TSR berkisar 0,07–0,093 (Prasetyo *et al.*, 2018). Octauria, Nindito, dan Saputra (2021) melakukan studi penambahan pengarah berjenis ODGV terhadap turbin Darrieus yang berbasis *lift force* (gaya angkat), sehingga mampu meningkatkan hasil *coefficient of power* (C_p). Pengukuran dilakukan di $x/B=0,5$ (tengah saluran) dengan pertimbangan karena di posisi tengah saluran memiliki kecepatan yang lebih tinggi dan semakin mengecil mendekati dinding dan dasar saluran (Nindito, Istiarto, dan Kironoto, 2008).

Studi terdahulu tentang pemusatan aliran pada turbin menggunakan ODGV ditunjukkan pada Gambar 1. Alexander dan Santhanakrishnan (2017) melakukan inovasi terhadap jumlah *rectifier* dengan variasi 6, 12 dan 24 buah (Gambar 1a). Pengurangan jumlah *blade* ODGV menyebabkan penurunan performa turbin. Tekanan yang berbeda membuat aliran tidak sepenuhnya tersalurkan menuju stator. Salim *et al.*, (2015) melakukan eksperimen terhadap desain *tilt angle rectifier* pada *guide vanes* (Gambar 1b). Variasi *tilt angle rectifier* yang digunakan adalah 15° , 30° dan 45° . Desain tanpa variasi sudut menghasilkan nilai C_p maksimum 0,018 dengan *Tip Speed Ratio* (TSR) sebesar 0,48. Penambahan *tilt angle* terhadap *guide vanes* menyebabkan menurunnya *coefficient of torque* (C_T) ketika kecepatannya ditingkatkan. Hasil studi didapat bahwa *guide vanes* dengan desain *tilt angle rectifier* 45° meningkatkan *coefficient of power* (C_p) sebesar 65,89% lebih tinggi dibandingkan turbin tanpa *guide vanes*.



Gambar 1. Pemusatan aliran pada turbin Savonius: (a) Skema model stator ODGV (Alexander dan Santhanakrishnan, 2017), (b) Turbin Savonius dan *guide vanes* (Salim *et al.*, 2015), (c) Parameter geometris ODGV (Wicaksono dan Tjahjana, 2017), (d) Sudut deflektor (α) *guide vanes* pada turbin Savonius (Adiwidodo *et al.*, 2020) dan (e) Prototipe turbin angin sumbu vertical (Tang *et al.*, 2012)

Berdasarkan studi Wicaksono dan Tjahjana (2017), diketahui bahwa penambahan ODGV terhadap turbin Savonius dapat mengatasi masalah *blade* sisi cekung yang menghasilkan torsi negatif (Gambar 1c). Tekanan negatif yang dimiliki *blade* turbin Savonius dapat diminimalkan dengan menggunakan ODGV sehingga menambah kecepatan turbin berotasi. Adiwidodo *et al.*, (2020) menggunakan aplikasi CFD dalam pengujian terhadap turbin Savonius (Gambar 1d). Peningkatan kecepatan turbin dengan melakukan penambahan variasi deflektor 15° mampu meningkatkan perolehan nilai torsi, namun ketika sudut deflektor diperbesar maka nilai torsi akan berkurang. Penambahan jumlah *blade* dapat meningkatkan kecepatan aliran fluida di sekitar *blade*. Penggunaan deflektor dapat mengurangi hambatan yang terjadi pada aliran. Sudut deflektor tertentu tidak dapat menghasilkan nilai torsi maksimum. Torsi maksimum didapatkan dengan sudut deflektor yang lebih besar dengan simulasi kecepatan aliran yang lebih tinggi. Tang *et al.*, (2012) melakukan inovasi dengan penambahan *guide vanes* terhadap turbin sumbu vertikal Savonius dengan menggunakan simulasi CFD (Gambar 1e). Torsi mengalami peningkatan saat mendapat tekanan yang besar pada kedua sisi *blade*. Penambahan *guide vanes* menghasilkan C_p maksimum 0,3375 dan TSR sebesar 0,8 lebih besar dari turbin Savonius tanpa *guide vanes*. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa turbin Savonius dengan menggunakan *guide vanes* dapat meningkatkan performa lebih besar dibandingkan dengan turbin Savonius konvensional.

Beberapa parameter untuk mengetahui performa turbin antara lain *coefficient of power* (C_p), *coefficient of torque* (C_τ) dan *Tip Speed Ratio* (TSR). *Coefficient of torque* (C_τ) didefinisikan sebagai rasio torsi aktual oleh turbin yang tersedia dalam aliran (Alom dan Saha, 2018).

$$C_\tau = \frac{T_{turbine}}{\frac{1}{2} \rho A V^2 R} \quad \dots(1)$$

dengan: $T_{turbine}$ = gaya yang dihasilkan oleh rotasi turbin, ρ = massa jenis air (kg/m^3), A = luas daerah bidang tangkap (m^2), V = kecepatan aliran (m/s) dan R = jari-jari turbin (m).

Coefficient of power (C_p) merupakan energi yang dihasilkan dari turbin sebagai bagian dari energi air total yang melewati area putaran turbin (Alom dan Saha, 2018).

$$C_p = \frac{\tau \omega}{\frac{1}{2} \rho A V^3} \quad \dots(2)$$

dengan: τ = torsi yang dihasilkan oleh turbin (Nm) dan ω = kecepatan sudut (rad/s).

Kecepatan sudut ditunjukkan oleh persamaan berikut (Mahmoud *et al.*, 2012).

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad \dots(3)$$

dengan: n merupakan jumlah putaran per menit yang diperoleh turbin (RPM)

Performa turbin Savonius dapat dilihat dari nilai *Tip Speed Ratio* (TSR) (Salim *et al.* 2015).

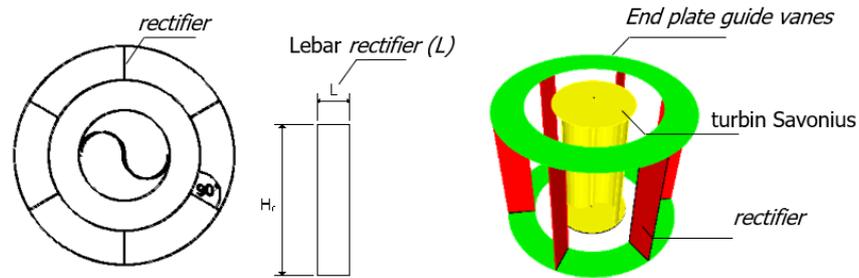
$$TSR = \frac{\omega R}{V} \quad \dots(4)$$

Berdasarkan uraian di atas, turbin Savonius menghasilkan nilai torsi negatif yang cukup tinggi dikarenakan sisi cekung pada *blade* turbin Savonius, sehingga pemusatan aliran menjadi penting dilakukan. Salah satu cara untuk meningkatkan performa turbin Savonius adalah dengan menambahkan ODGV, namun seberapa besar pengaruh lebar *rectifier guide vane* menjadi perlu dipertimbangkan. Untuk itu perlu studi eksperimental yang bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan *guide vanes* pada turbin Savonius terhadap performa turbin saat dilakukan variasi lebar *rectifier*. Tujuan utamanya supaya mampu meningkatkan jumlah aliran yang masuk ke turbin, meminimalkan torsi negatif dan mengoptimalkan torsi positif dengan mengarahkan air yang memasuki rotor turbin, sehingga kinerja turbin meningkat.

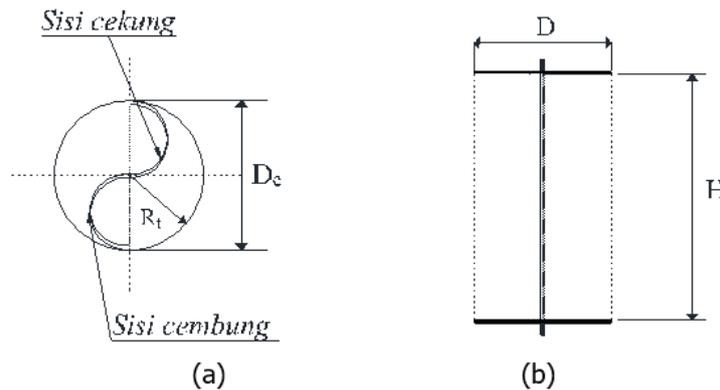
2. METODE PENGUJIAN

Studi ini menggunakan metode ekperimental dengan cara menguji turbin Savonius dengan penambahan fitur *guide vanes* (*rectifier* dan *end plate*). Lebar *rectifier* (L) divariasikan berdasarkan ukuran jari-jari turbin Savonius. *Rectifier* dipasang dengan sudut 90° (tegak lurus terhadap turbin Savonius), sedangkan dimensi *end plate* menyesuaikan lebar *rectifier* (L), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.

Uji Eksperimental Pengaruh Dimensi Lebar Rectifier Guide Vanes terhadap Kinerja Turbin Hidrokinetik Savonius

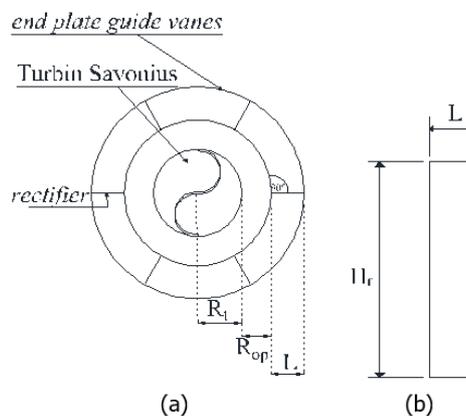


Gambar 2. Desain sudut (90°) dan variasi lebar *rectifier* (L) *guide vane*



Gambar 3. Sketsa desain turbin Savonius: (a) tampak atas, (b) tampak samping

Pada Gambar 3a menunjukkan desain turbin Savonius tampak atas. Turbin Savonius memiliki karakteristik *blade* sisi cembung dan cekung, dengan D_c adalah diameter *blade* turbin Savonius dan R_t merupakan jari-jari turbin. Gambar 3b memperlihatkan tampak samping turbin Savonius, dengan D adalah diameter *end plate* turbin dan H adalah tinggi *blade*.



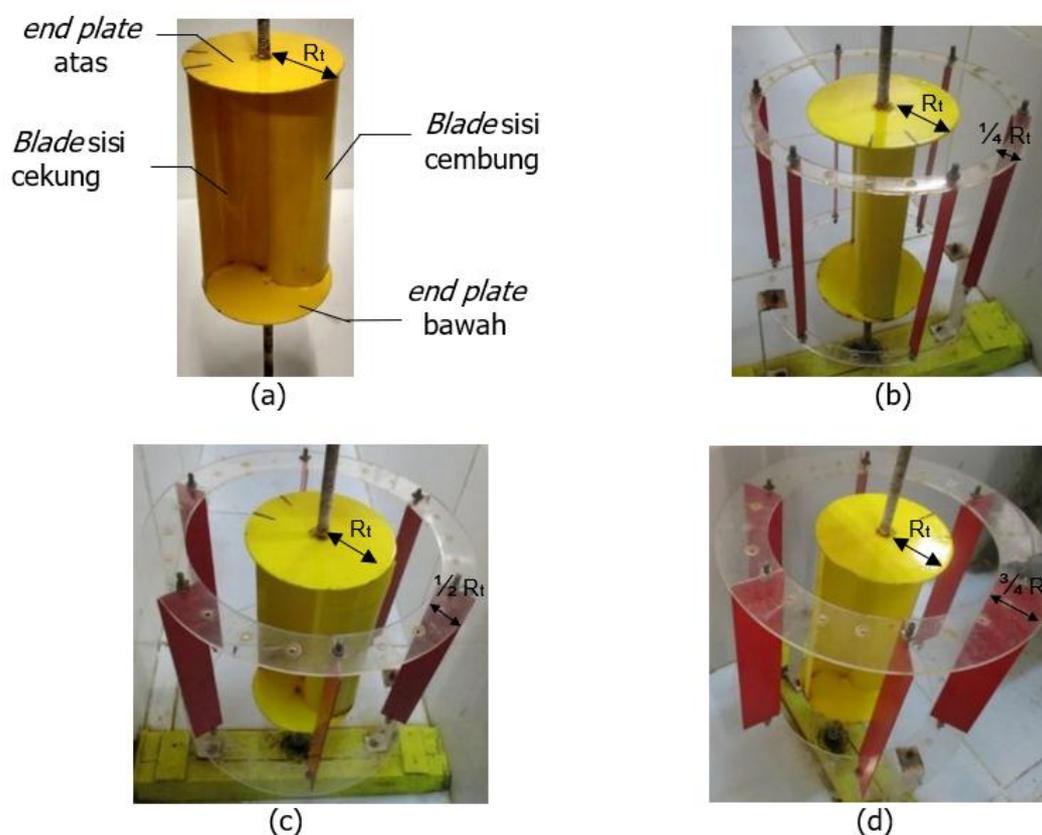
Gambar 4. Desain turbin Savonius dengan *guide vanes*: (a) Skematik turbin Savonius dengan *guide vanes* dan (b) Dimensi *rectifier*

Gambar 4a menunjukkan tampak atas dari skematik turbin Savonius dengan menggunakan *guide vanes* (*rectifier* dan *end plate*). *Rectifier* dipasang dengan sudut 90° (tegak lurus terhadap turbin Savonius). R_t adalah jari-jari turbin yang diukur dari titik pusat sampai sisi terluar dari *end plate* turbin Savonius. R_{op} adalah jari-jari *opening* yang diukur dari jari-jari terluar turbin sampai bagian dalam *end plate* dari *guide vanes*. Gambar 4b menunjukkan dimensi *rectifier*, di mana H_r adalah tinggi *rectifier* dan L adalah lebar dari *rectifier*.

Tabel 1. Parameter desain turbin Savonius dan *guide vanes*

Parameter	Simbol	Dimensi
Diameter <i>blade</i>	D	12 cm
Jari – jari turbin	R_t	6 cm
Diameter <i>end plate</i>	D_e	12 cm
Tinggi turbin	H	21,6 cm
Jari – jari <i>opening</i>	R_{op}	4 cm
Tinggi <i>rectifier</i>	H_r	21,6 cm
Lebar <i>rectifier</i>	L	$\frac{3}{4}R_t, \frac{1}{2}R_t, \frac{3}{4}R_t$ cm

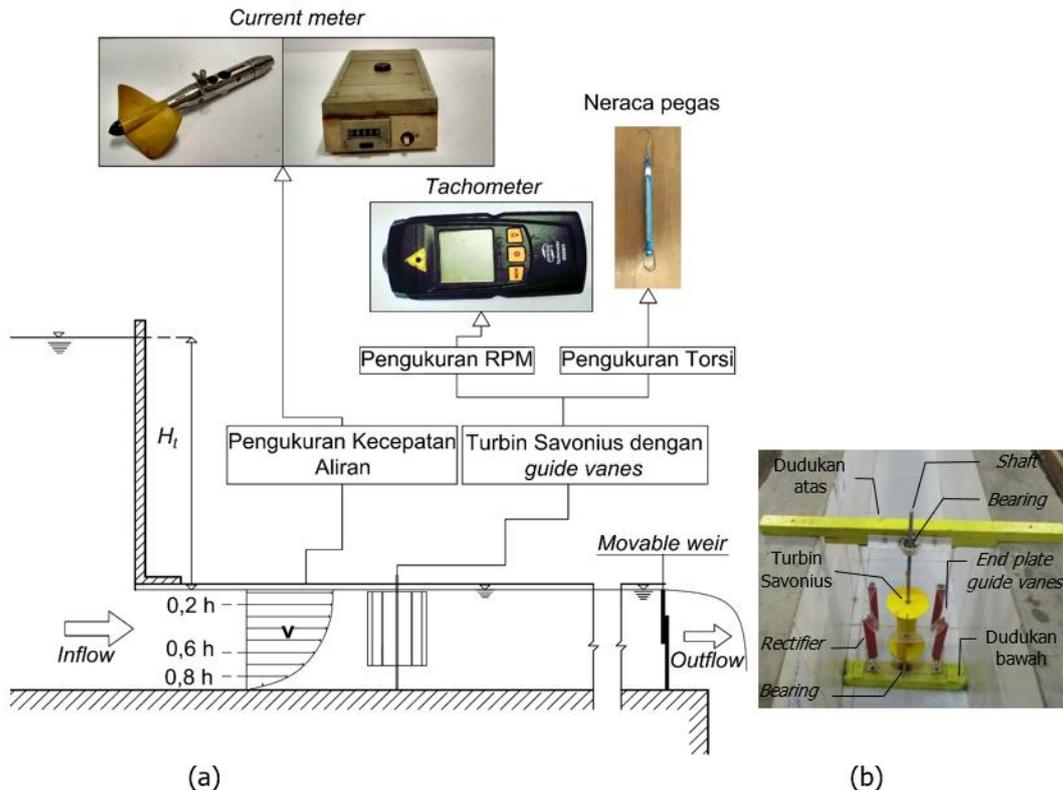
Tabel 1 menunjukkan parameter desain turbin Savonius dan *guide vanes* yang diujikan. Berdasarkan Tabel 1, maka dibuatlah bentuk dari turbin Savonius dan *guide vanes*.



Gambar 5. (a) Turbin Savonius yang diujikan, (b) Lebar *rectifier* $L = \frac{1}{4}R_t$, (c) Lebar *rectifier* $L = \frac{1}{2}R_t$, (d) lebar *rectifier* $L = \frac{3}{4}R_t$

Gambar 5a menunjukkan desain dari turbin Savonius yang akan diujikan pada saluran prismatik (*flume*). Gambar 5b, Gambar 5c dan Gambar 5d masing-masing menunjukkan variasi lebar *rectifier* (L) yang digunakan, yaitu $L = \frac{1}{4}R_t$, $L = \frac{1}{2}R_t$ dan $L = \frac{3}{4}R_t$ dengan R_t adalah jari-jari turbin Savonius. Ukuran *end plate guide vanes* menyesuaikan dengan lebar *rectifier* (L).

Uji Eksperimental Pengaruh Dimensi Lebar Rectifier Guide Vanes terhadap Kinerja Turbin Hidrokinetik Savonius



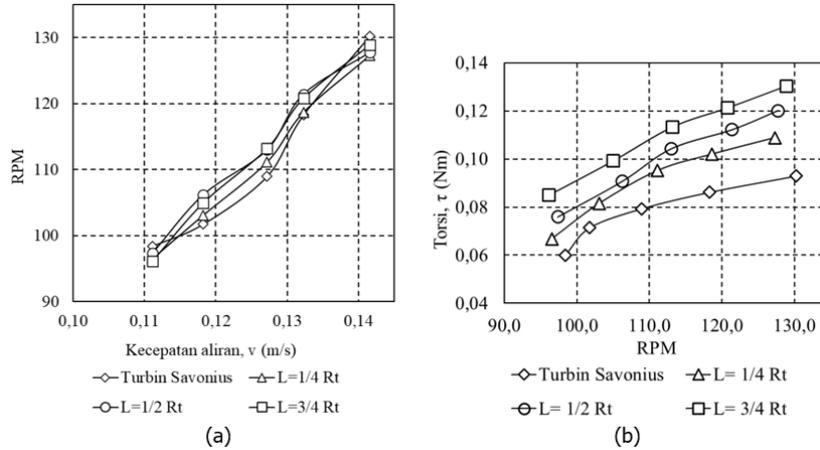
Gambar 6. Skematik pengujian eksperimental: (a) saluran prismatik (*flume*) dan (b) posisi pengujian turbin Savonius

Pengujian turbin Savonius dan turbin Savonius dengan *guide vanes* dilakukan pada saluran prismatik (*flume*) seperti yang terlihat pada skema Gambar 6a. Ukuran *flume* yang digunakan adalah tinggi $H_f = 0,44\text{m}$, lebar $L_f = 0,46\text{m}$ dan kedalaman aliran saat pengujian $H_a = 0,42\text{m}$. Variasi beda tinggi (H_t) permukaan air di tandon dengan permukaan air di saluran prismatik (*flume*) menyebabkan variasi kecepatan aliran yang mengalir di *flume*. *Movable weir* berfungsi untuk menjaga ketinggian air pada permukaan saluran prismatik sehingga alirannya *steady flow*. Rotasi Per Menit (RPM) diukur menggunakan alat *tachometer* tipe GM8905. Torsi (τ) diperoleh dari nilai gaya (N) yang dihasilkan neraca pegas dikalikan panjang lengan (m). Pembacaan kecepatan aliran diukur dengan alat *current meter* seri SEBA-*Universal Current meter* F1. Dari pengukuran profil distribusi kecepatan vertikal pada $x/B=0,5$ (tengah saluran) diperoleh kecepatan rerata tampang saluran. Gambar 6b menunjukkan turbin Savonius menggunakan *guide vanes* dengan variasi lebar *rectifier* (L) yang diujikan pada studi ini. Posisi *rectifier guide vanes* adalah 90° tegak lurus mengelilingi seluruh bagian turbin Savonius dengan tujuan meningkatkan kecepatan aliran menuju *blade* turbin dan mengurangi momen hambatan yang bekerja pada *blade* turbin dengan cara menyesuaikan arah aliran.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

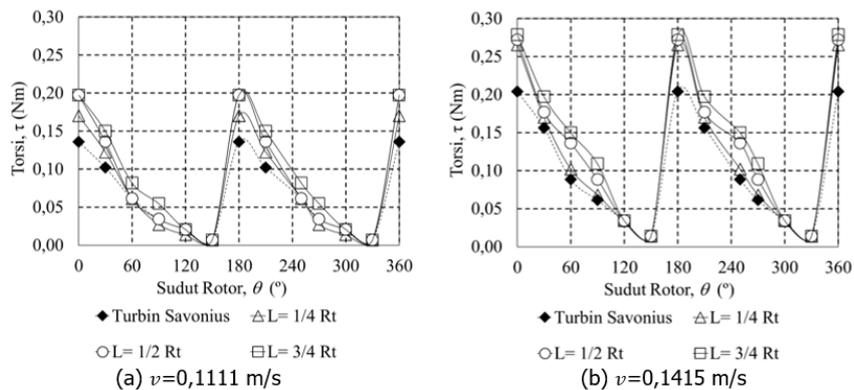
Uji eksperimental dilakukan pada *range* kecepatan $0,1111\text{ m/s}$ sampai dengan $0,1415\text{ m/s}$. Gambar 7a memperlihatkan hubungan Rotasi Per Menit (RPM) dengan kecepatan aliran (v). Hasil pengujian dengan *range* kecepatan yang sama diperoleh nilai Rotasi Per Menit (RPM) turbin Savonius sebesar $98,41\text{--}130,25$. Turbin Savonius menggunakan *guide vanes* dengan variasi lebar *rectifier* $L = \frac{1}{4}R_t$ memperoleh nilai RPM sebesar $96,54\text{--}127,29$. Untuk lebar *rectifier* $L = \frac{1}{2}R_t$ menghasilkan nilai RPM antara $97,38\text{--}127,75$. Sedangkan hasil untuk lebar

$rectifier L = \frac{3}{4} R_t$ diperoleh nilai RPM antara 96,13– 128,93. Berdasarkan Gambar 7a, gradien perubahan kecepatan aliran (v) terhadap RPM untuk variasi lebar $rectifier L = \frac{3}{4} R_t$ lebih tinggi dibandingkan variasi lebar $rectifier (L)$ lainnya.



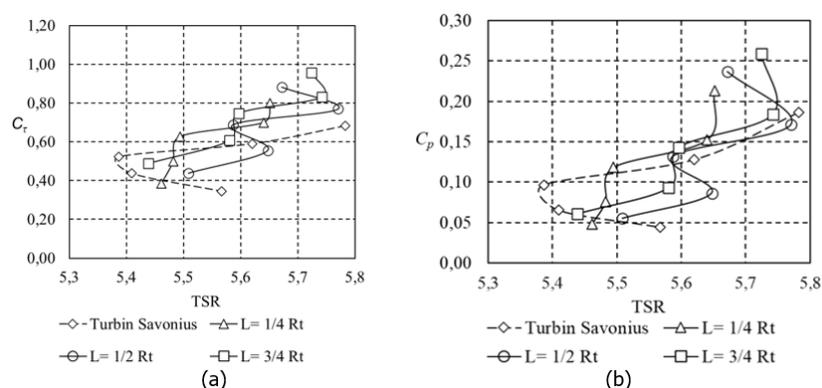
Gambar 7. (a) Grafik hubungan RPM dan Kecepatan aliran, v (m/s) dan (b) Grafik hubungan RPM dan Torsi (Nm)

Gambar 7b menunjukkan hubungan RPM dan torsi (τ) pada turbin Savonius dan turbin Savonius menggunakan *guide vanes* dengan variasi lebar $rectifier (L)$. Turbin Savonius menghasilkan torsi (τ) antara 0,0601–0,0929 Nm dan Rotasi Per Menit (RPM) berkisar 98,41–130,25. *Guide vanes* dengan variasi lebar $rectifier L = \frac{1}{4} R_t$ memperoleh nilai RPM sebesar 96,54–127,29 dan torsi (τ) antara 0,0669–0,1088 Nm. Untuk *guide vanes* dengan lebar $rectifier L = \frac{1}{2} R_t$ menghasilkan torsi (τ) dan RPM masing-masing antara 0,0759–0,1201 Nm dan 97,38–127,75. Untuk variasi dengan lebar $rectifier L = \frac{3}{4} R_t$ menghasilkan nilai RPM berkisar antara 96,13–128,93 dan nilai torsi (τ) antara 0,0850–0,1303 Nm. Berdasarkan Gambar 7b, gradien perubahan RPM terhadap nilai torsi (τ) variasi lebar $rectifier L = \frac{3}{4} R_t$ lebih tinggi dibandingkan variasi $rectifier$ lainnya.



Gambar 8. Grafik hubungan torsi (τ) terhadap sudut rotor (θ) dengan kecepatan aliran (v)

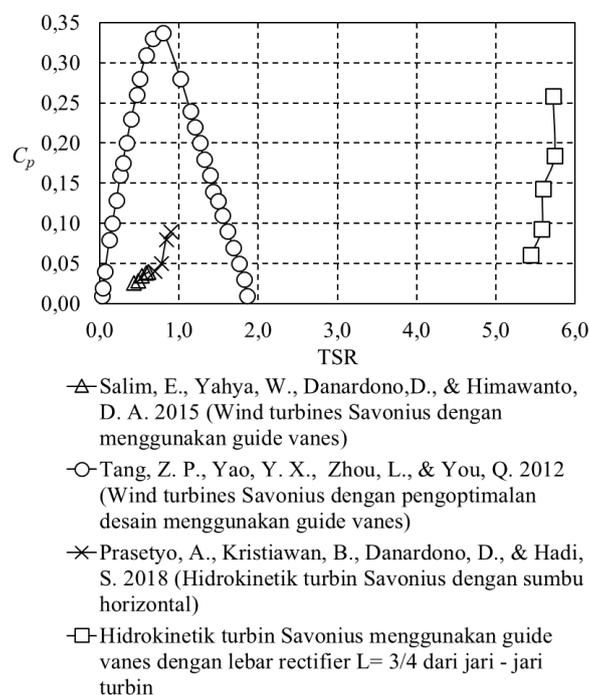
Gambar 8 menunjukkan perbandingan torsi (τ) dengan sudut rotor (θ) satu putaran penuh. Pengujian dilakukan pada variasi kecepatan aliran $v = 0,1111$ m/s (Gambar 8a) dan kecepatan aliran $v = 0,1415$ m/s (Gambar 8b). Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa rasio penambahan kecepatan aliran menghasilkan peningkatan torsi (τ) pada saat sudut rotor (θ) 0° , 180° dan 360° . Pada posisi sudut rotor (θ) tersebut, sisi cekung turbin Savonius berada pada posisi tegak lurus terhadap arah aliran. Hal ini menyebabkan tangkapan aliran terjadi secara optimal. Pada kondisi kecepatan aliran $v = 0,1415$ m/s (Gambar 8b), pada sudut 180° – 210° dan 330° – 360° menunjukkan peningkatan torsi (τ) akibat penambahan *guide vanes* dibandingkan turbin Savonius tanpa *guide vanes*. Desain turbin Savonius menggunakan *guide vanes* dengan variasi lebar *rectifier* $L = \frac{1}{4} R_t$, $L = \frac{1}{2} R_t$ dan $L = \frac{3}{4} R_t$ masing-masing menghasilkan peningkatan torsi (τ) sebesar 29,9%, 33,3%, dan 36,3%.



Gambar 9. (a) Grafik hubungan *coefficient of torque* (C_T) dan *Tip Speed Rasio* (TSR) dan (b) Grafik hubungan *coefficient of power* (C_p) dan *Tip Speed Ratio*

Gambar 9a menunjukkan grafik hubungan C_T dan TSR pada pengujian turbin Savonius dan turbin Savonius menggunakan *guide vanes*. Turbin Savonius menghasilkan *coefficient of torque* (C_T) dan *Tip Speed Ratio* (TSR) masing-masing antara 0,35–0,68 dan 5,39–5,78. Turbin Savonius menggunakan *guide vanes* dengan variasi lebar *rectifier* $L = \frac{1}{4} R_t$ menghasilkan C_T berkisar 0,39–0,80 dan TSR antara 5,46–5,65. Variasi *rectifier* $L = \frac{1}{2} R_t$ memperoleh nilai TSR antara 5,51–5,77 dan C_T berkisar 0,44–0,88. Variasi dengan lebar *rectifier* $L = \frac{3}{4} R_t$ memperoleh nilai *coefficient of torque* (C_T) antara 0,49–0,96 dan TSR berkisar antara 5,44–5,72. Berdasarkan Gambar 9a, lebar *rectifier* $L = \frac{3}{4} R_t$ menghasilkan *coefficient torque* (C_T) lebih tinggi dibandingkan variasi lebar *rectifier* (L) lainnya. Persamaan 1 menjelaskan nilai *coefficient torque* (C_T) dipengaruhi oleh torsi (τ) yang dihasilkan. Semakin tinggi nilai torsi (τ) yang dihasilkan maka nilai C_T akan meningkat. Gambar 9b menunjukkan pengujian pada turbin Savonius dan turbin Savonius menggunakan *guide vanes* yang ditunjukkan dari hubungan C_p dan TSR. Turbin Savonius menghasilkan nilai *coefficient of power* (C_p) antara 0,04–0,19. Penambahan *guide vanes* dengan variasi lebar *rectifier* $L = \frac{1}{4} R_t$ menghasilkan C_p antara 0,05–0,21, dan nilai C_p dengan lebar *rectifier* $L = \frac{1}{2} R_t$ berkisar antara 0,06–0,24. Variasi untuk lebar *rectifier* $L = \frac{3}{4} R_t$ menghasilkan nilai C_p antara 0,06–0,26. Berdasarkan Gambar 9b, lebar *rectifier* $L = \frac{3}{4} R_t$ menghasilkan nilai *coefficient of power* (C_p) lebih tinggi dibandingkan

variasi *rectifier* lainnya. Hal ini diketahui dari persamaan 2, nilai C_p akan meningkat seiring dengan meningkatnya perolehan nilai torsi (τ). Gambar 9b menunjukkan perolehan nilai torsi (τ) dengan lebar *rectifier* $L = \frac{3}{4} R_t$ lebih tinggi dibandingkan variasi lebar *rectifier* (L) lainnya.



Gambar 10. Perbandingan nilai C_p dan TSR turbin Savonius menggunakan *guide vanes* dengan studi terdahulu

Berdasarkan Gambar 10, Prasetyo *et al.*, (2018) melakukan pengujian terhadap turbin Savonius dengan memasang deflektor agar dapat memusatkan aliran. Prasetyo *et al.*, (2018) memperoleh nilai C_p turbin Savonius adalah 0,04–0,09 dan TSR sebesar 0,07–0,93. Salim *et al.*, (2015) yang menggunakan *guide vanes* dengan sudut 60° menghasilkan *coefficient of power* (C_p) dan TSR masing-masing antara 0,018 dan 0,48. Berdasarkan Gambar 10, turbin Savonius menggunakan *guide vanes* dengan variasi lebar *rectifier* $L = \frac{3}{4} R_t$ menghasilkan performa *coefficient of power* (C_p) dan nilai *Tip Speed Ratio* (TSR) yang lebih tinggi dibandingkan hasil Prasetyo *et al.*, (2018) dan Salim *et al.*, (2015). Tang *et al.*, (2012) melakukan uji coba terhadap *guide vanes*, hasil studi memperoleh nilai C_p maksimum 0,3375 dan TSR sebesar 0,8. Berdasarkan Gambar 10, bahwa turbin Savonius menggunakan *guide vanes* dengan variasi lebar *rectifier* $L = \frac{3}{4} R_t$ memiliki nilai *coefficient of power* (C_p) lebih kecil, akan tetapi nilai *Tip Speed Ratio* (TSR) yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan Tang *et al.*, (2012).

4. KESIMPULAN

Dalam studi ini beberapa pengujian terhadap lebar *rectifier* telah dilakukan. Variasi lebar *rectifier* (L) yang digunakan dalam studi ini yaitu $\frac{1}{4}R_t$, $\frac{1}{2}R_t$ dan $\frac{3}{4}R_t$, dimana R_t adalah jari-jari turbin Savonius. Variasi lebar *rectifier* (L) yang menghasilkan kinerja lebih baik terhadap turbin Savonius adalah lebar *rectifier* $L = \frac{3}{4} R_t$. Variasi lebar *rectifier* $L = \frac{3}{4} R_t$ memperoleh *coefficient of power* (C_p) lebih tinggi dibandingkan dengan turbin Savonius tanpa

menggunakan *guide vanes*. Penambahan *guide vanes* dengan variasi lebar *rectifier* (L) menyebabkan penurunan terhadap nilai Rotasi Per Menit (RPM) turbin Savonius pada saat terjadi peningkatan kecepatan aliran. *Guide vanes* dengan variasi lebar *rectifier* $L = \frac{1}{4} R_t$, $L = \frac{1}{2} R_t$ dan $L = \frac{3}{4} R_t$ masing-masing menghasilkan peningkatan torsi (τ) sebesar 29,9%, 33,3%, dan 36,3%. Variasi lebar *rectifier* $L = \frac{3}{4} R_t$ menghasilkan nilai *coefficient torque* (C_T) lebih tinggi dibandingkan variasi *rectifier* lainnya. Studi selanjutnya dapat melakukan penelitian mengenai pengaruh lebar *rectifier* (L) berdasarkan tinggi dan luas tangkap dari turbin Savonius, hal ini menarik diteliti lebih lanjut untuk mendapatkan kinerja turbin yang optimum.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiwidodo, S., Wahyudi, B., Yudiyanto, E., Subagiyo, S., Hartono, M., & Baananto, F. (2020). Simulation Study of Savonius Tandem Blade Wind Turbine Using an Adjustable Deflector. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 732(1), 012093.
- Alexander, A. S., & Santhanakrishnan, A. (2017). Trapped Cylindrical Flow With Multiple Inlets for Savonius Vertical Axis Wind Turbines. *Journal of Fluids Engineering*, 1–26.
- Alom, N., & Saha, U. K. (2018). Four Decades of Research Into the Augmentation Techniques of Savonius Wind Turbine Rotor. *Journal of Energi Resources Technology*, 140, 1–14.
- 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(02), 159–170. <https://doi.org/10.36055/tjst.v16i2.9186>
- Elbatran, A. H., Yaakob, O. B., Ahmed, Y. M., & Jalal, M. R. (2015). Novel Approach of Bidirectional Diffuser-Augmented Channels System for Enhancing Hydrokinetic Power Generation in Channels. *Renewable Energy*, 83, 809–819.
- Kang, C., Liu, H., & Yang, X. (2014). Review of Fluid Dynamics Aspects of Savonius-Rotor-Based Vertical-Axis Wind Rotors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, 499–508.
- Mahmoud, N. H., El-Haroun, A. A., Wahba, E., & Nasef, M. H. (2012). An Experimental Study on Improvement of Savonius Rotor Performance. *Alexandria Engineering Journal*, 51(1), 19–25.
- Nindito, D. A., & Kamiana, I. M. (2010). Perencanaan Model PLTA Skala Kecil Berbasis Teknologi Lokal Di Daerah Pemukiman Tepi Sungai. *PROTEKSI (Program Studi Teknik Sipil)*, II(02), 1–7.
- Nindito, D. A., Istiarto, dan Kironoto, B. A. (2008). Simulasi Numeris Tiga Dimensi Kantong Lumpur Bendung Sapon. *Civil Engineering Forum Teknik Sipil*, XVIII(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. <https://doi.org/10.32497/eksergi.v17i2.2581>
- Prasetyo, A., Kristiawan, B., Danardono, D., & Hadi, S. (2018). The Effect of Deflector Angle in Savonius Water Turbine with Horizontal Axis on the Power Output of Water Flow in Pipe. *Journal of Physics: Conference Series*, 1–6.
- 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. <https://doi.org/10.37031/jt.v19i1.145>
- Roy, S., Mukherjee, P., & Saha, U. K. (2014). Aerodynamic Performance Evaluation of A Novel Savonius-Style Wind Turbine Under An Oriented Jet. *ASME 2014 Gas Turbine India Conference*, 1–7.

- Salim, E., Yahya, W., Danardono, D., & Himawanto, D. A. (2015). A Study of the Influence of Guide Vane Design to Increase Savonius Wind Turbine Performance. *Modern Applied Science*, 9(11), 222.
- Tang, Z. P., Yao, Y. X., Zhou, L., & Yao, Q. (2012). Optimal Design of a New Type of Savonius Rotor Using Simulation Analysis. *Key Engineering Materials*, 499, 120–125.
- 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. <http://doi.org/10.33084/mits.v9i1.1771>
- Wicaksono, Y. A., & Tjahjana, D. D. D. P. (2017). Computational Study: The Influence of Omni-Directional Guide Vane on the Flow Pattern Characteristic Around Savonius Wind Turbine. *AIP Conference Proceedings*, 1–4.
- Yudistira, R., Nindito, D. A., & Saputra, R. H. (2021). Kinerja Turbin Hidrokinetik Tornado Savonius. *Jurnal Teknik: Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Keteknikan*, 4(2), 181–186. <https://doi.org/10.52868/jt.v4i2.2732>
- Yudistira, R., Nindito, D. A., & Saputra, R. H. (2021). Uji Eksperimental Pengembangan Turbin Hidrokinetik Savonius Berdasarkan Bentuk Profil Distribusi Kecepatan Aliran. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil* 7(1), 1–11. <https://doi.org/10.26760/rekaracana.v7i1.215>