

KINERJA TURBIN HIDROKINETIK TORNADO SAVONIUS

Raditya Yudistira

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya
Jln. Hendrik Timang, Palangka Raya, e-mail: yudistira.raditya1996@gmail.com

Dwi Anung Nindito

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya
Jln. Hendrik Timang, Palangka Raya, e-mail: dwi_anungnindito@eng.upr.ac.id

Raden Haryo Saputra

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya
Jln. Hendrik Timang, Palangka Raya, e-mail: rhsaputra@jts.upr.ac.id

Abstrack : Flow velocity distribution causes the use of the Savonius turbine in water streams to be less desirable. Tornado Savonius turbine is a new type of turbine developed by the Savonius turbine design. Innovation of the Tornado Savonius turbine is at the bottom of the blade which shrinks and enlarges at the top of the blade. This shape resembles the shape of the flow velocity distribution. This study was conducted by comparing the performance of the Savonius turbine and the Tornado Savonius turbine. It was carried out on a prismatic channel with 5 variations in velocity and 4 variations in depth. Relating to the flow velocity range (v) between 0.172 m/s – 0.453 m/s, the innovation of the Tornado Savonius turbine had elevated the Coefficient of Power (C_P) value of the Tornado Savonius turbine to be greater than C_P of the Savonius turbine. Based on experimental tests in this study, the Savonius turbine produced RPM values of 12.2–28.9 when the torque range between 0.063–0.213 Nm while the Tornado Savonius turbine produced RPM of 20.7–56.1 when the tested torque values range between 0.038–0.175 Nm. The optimal C_P value produced by the Savonius turbine was 0.270 and the Tornado Savonius turbine produced an optimal C_P value of 0.422. Based on the gradient of the change in flow velocity to the C_P value, the Tornado Savonius turbine could work optimally at the same channel depth as the turbine height. This proves that the flow velocity distribution works better on the Tornado Savonius turbine compared to the Savonius turbine.

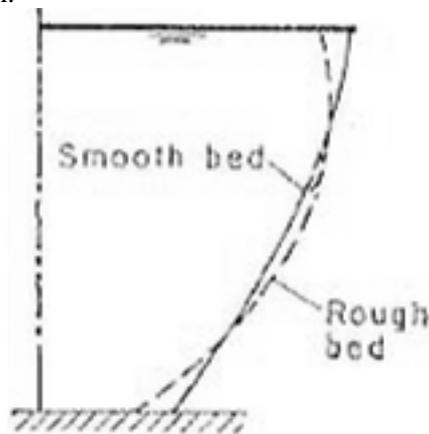
Keyword: flow velocity distribution, savonius, tornado savonius , turbine hydrokinetic

Abstrak: Konsep distribusi kecepatan aliran menyebabkan penggunaan turbin Savonius di aliran air kurang diminati. Turbin Tornado Savonius merupakan jenis turbin baru hasil pengembangan desain turbin Savonius. Inovasi dari turbin Tornado Savonius berada pada bagian bawah *blade* yang mengecil dan membesar pada bagian atas *blade*. Bentuk tersebut menyerupai bentuk distribusi kecepatan aliran. Studi ini dilakukan dengan membandingkan kinerja yang dihasilkan turbin Savonius dan turbin Tornado Savonius. Pengujian ini dilakukan pada saluran prismatic dengan 5 variasi kecepatan dan 3 variasi kedalaman. Pada rentang kecepatan aliran (v) antara 0,172 m/s–0,453 m/s, inovasi turbin Tornado Savonius menyebabkan nilai *Coefficient of Power* (C_P) turbin Tornado Savonius lebih besar dari turbin Savonius. Berdasarkan uji eksperimen pada studi ini turbin Savonius menghasilkan nilai RPM sebesar 12,2–28,9 pada saat torsi (τ) sebesar 0,063–0,213 Nm sedangkan turbin Tornado Savonius menghasilkan RPM sebesar 20,7–56,1 pada saat nilai torsi pengujian sebesar 0,038–0,175 Nm. Nilai C_P optimal yang dihasilkan turbin Savonius sebesar 0,270 dan turbin Tornado Savonius menghasilkan nilai C_P optimal sebesar 0,422. Berdasarkan gradien perubahan kecepatan aliran terhadap nilai C_P diketahui bahwa turbin Tornado Savonius dapat bekerja secara optimal pada kedalaman saluran yang sama dengan tinggi turbin. Hal ini membuktikan bahwa distribusi kecepatan aliran bekerja baik pada turbin Tornado Savonius dibandingkan turbin Savonius.

Kata Kunci: distribusi kecepatan aliran, savonius, tornado savonius, turbin hidrokinetik

PENDAHULUAN

Turbin Savonius (Savonius dan Finland, 1931) adalah salah satu turbin yang dapat berputar pada aliran air sungai (Lago, Ponta dan Chen, 2010). Salah satu faktor yang berpengaruh pada aliran air adalah distribusi kecepatan aliran dan faktor yang menyebabkan turbin Savonius kurang diminati pada aliran air adalah konsep distribusi kecepatan aliran (Khan, Bhuyan, Iqbal, dan Quaicoe, 2009). Menurut Nindito, Istiarto dan Kironoto (2009), kecepatan aliran yang menuju dinding batas nilainya mengecil dan kecepatan maksimum kecepatan aliran terjadi pada bagian tengah saluran.



Gambar 1. Efek kekasaran terhadap distribusi kecepatan di saluran terbuka (sumber: Chow, 1959)

Gambar 1 menunjukkan Distribusi Kecepatan di saluran terbuka. Karena adanya gesekan di sepanjang dinding Saluran, kecepatan saluran tidak terdistribusi secara merata di bagian saluran. Kecepatan optimal di saluran biasanya muncul pada bagian atas saluran.

Berdasarkan masalah diatas, maka tujuan dari penelitian ini:

1. Menemukan desain dari turbin Savonius yang mampu memaksimalkan konsep distribusi kecepatan aliran yang ada pada aliran air.
2. Membandingkan nilai antara kecepatan aliran dan *Coefficient of Power* (C_P) kemudian membandingkan nilai antara RPM dan torsi (τ) yang dihasilkan dari desain turbin Savonius dan turbin hasil modifikasi turbin Savonius.

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini dilakukan sebatas perhitungan hidrodinamika turbin, tidak membahas sistem kelistrikan.

2. Uji coba dilakukan di saluran prismatik (*flume*).
3. Bentuk *blade* turbin Savonius yang digunakan pada penelitian ini didasarkan pada paten No. US 1697574A.

TINJAUAN PUSTAKA

Turbin Hidrokinetik

Turbin hidrokinetik merupakan alat pemutar generator untuk menghasilkan tenaga listrik yang menggunakan fluida air pada kecepatan tertentu agar menghasilkan energi mekanis/putaran turbin (Muis dan Abdul, 2010).

Jenis Turbin Hidrokinetik

1. Turbin Darrieus

Turbin Darrieus merupakan turbin yang menggunakan prinsip aerodinamik yang memanfaatkan gaya angkat pada penampang *blade* turbinnya dalam mengekstrak energi fluida. Wardani, Nindito dan Jaya, (2020) melakukan inovasi terhadap turbin Darrieus yang diberi nama turbin *Spinning Top Darrieus* yang berbentuk *circular-arc* (lengkung) dan garis lurus, dengan membentuk *blade* seperti profil distribusi kecepatan aliran di $0,2H$, $0,6H$ dan $0,8H$ dari bagian atas turbin.

2. Turbin H-Darrieus

Pada studi (Gerardo dan Fo, 2003) mengatakan mekanisme yang digunakan pada *Straight-bladed* ditemukan bahwa efek hambatan yang diciptakan oleh sebuah *blade* akan membatasi kecepatan aliran. Oleh karena itu, H-Darrieus akan mengatur semua kecepatan aliran untuk mencapai kecepatan putaran optimalnya. Studi (Fertahi dkk., 2018) menggabungkan turbin H-Darrieus dengan turbin Savonius yang menggunakan tipe *airfoil* NACA 0015 akan mengatasi *self-starting* yang kurang baik pada turbin H-Darrieus.

3. Turbin Savonius

Turbin Savonius (Savonius dan Finland, 1931) secara umum bergerak lebih perlahan dibandingkan jenis turbin angin sumbu horizontal, tetapi menghasilkan torsi yang besar. Turbin Bronzinus merupakan turbin hasil modifikasi turbin Savonius yang dilakukan oleh Muscolo dan Molfino (2014) yang bertujuan mengatasi masalah energi di Lebanon.

4. Turbin Gorlov

Pengembangan turbin Gorlov bertujuan membuat turbin yang murah, efisien dan ramah lingkungan yang dapat digunakan pada aliran pasang surut (Gorlov, 2001). Antomo, Kamiana dan Nindito, (2020), melakukan penelitian terhadap pengaruh penambahan komponen *pair* pada turbin Gorlov. Turbin tersebut dinamakan turbin DNA. Bertambahnya *pair* pada turbin DNA menyebabkan RPM turbin DNA lebih rendah dibandingkan dengan turbin Gorlov, akan tetapi nilai torsi (τ) yang dihasilkan oleh turbin DNA lebih tinggi dari pada turbin Gorlov.

Kinerja Turbin Savonius

1. Parameter gaya seret dan angkat

Gaya seret (*drag force*) dan gaya angkat (*lift force*) merupakan suatu parameter penting dalam menentukan efisiensi sebuah turbin (Patel dkk., 2015). Gaya seret adalah gaya yang mengarah ke belakang atau menarik mundur dan disebabkan oleh gangguan aliran fluida. Gaya angkat dapat didefinisikan sebagai gaya yang dihasilkan oleh efek dinamis fluida yang bekerja pada *blade* dan bereaksi tegak lurus arah aliran fluida.

2. Parameter kinerja turbin

Tip Speed Ratio (TSR) merupakan *ratio* antara kecepatan tangensial *blade* dan kecepatan aliran air.

$$\lambda = \frac{\omega \cdot D}{2 \cdot v} = \frac{\left(\frac{2\pi \cdot n}{60 \text{detik}}\right) \cdot D}{2 \cdot v} \quad (1)$$

dengan λ adalah *Tip Speed Ratio*, D adalah diameter rotor (m), n adalah putaran turbin dan v adalah kecepatan aliran air (m/detik), ω adalah kecepatan sudut (rad/detik).

Coefficient of Power (C_P)

Merupakan perbandingan antara tenaga yang dihasilkan oleh turbin dengan tenaga yang tersedia di air.

$$C_p = \lambda \cdot C_\tau = \lambda \cdot \left(\frac{4\tau}{\rho v^2 D^2 H}\right) \quad (2)$$

dengan C_p adalah *Coefficient of Power*, τ adalah torsi (Nm), ρ adalah densitas air (kg/m^3) dan H adalah tinggi turbin (m), C_τ adalah Koefisien Torsi.

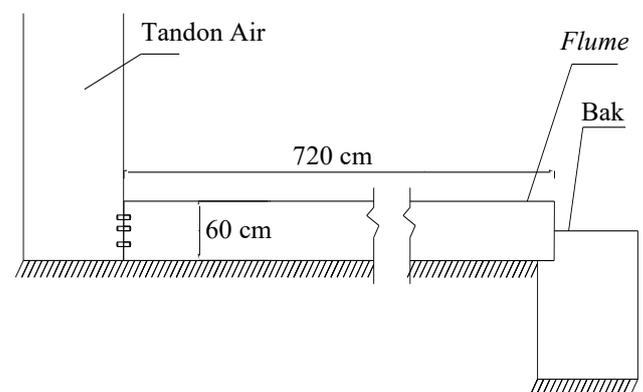
Betz Limit

Betz Limit merupakan nilai efisiensi maksimum turbin konvensional. Menurut Ragheb dan Ragheb (2012) nilai C_p maksimum turbin konvensional 0,6 dan TSR maksimum turbin Savonius 1,8.

METODE PENELITIAN

Umum

Modifikasi turbin Savonius dengan mengubah bentuk *blade* menyerupai pola distribusi kecepatan aliran. Turbin tersebut dinamakan turbin Tornado Savonius. Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui perbandingan nilai yang dihasilkan antara turbin Savonius dan turbin Tornado Savonius. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Hidrologi dan Hidraulika Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui turbin mana yang memiliki nilai yang lebih baik jika berada pada kedalaman aliran tertentu dan kecepatan aliran air tertentu. Langkah-langkah penelitian ini dimulai dari studi pustaka untuk mencari acuan dalam penelitian, kemudian dilanjutkan dengan pembuatan alat saluran prismatic (*flume*). Dimensi *flume* yang digunakan pada penelitian ini adalah lebar 60 cm, tinggi 60 cm dan panjang 720 cm. Selanjutnya dilakukan pengujian pada *flume* dengan menggunakan beberapa variasi *running* yaitu kecepatan aliran dan kedalaman. Data hasil *running* diolah dan selanjutnya digambarkan di dalam grafik hubungan antar parameter sehingga diketahui perbedaan nilai yang dihasilkan oleh masing-masing turbin.



Gambar 2. Flume

Alat-alat yang Digunakan Dalam Pengujian

Berikut merupakan alat-alat yang digunakan dalam pengujian:

1. *Tachometer*
Tachometer adalah sebuah alat untuk mengukur putaran yang dilakukan oleh sebuah poros dalam satu satuan waktu dan sering digunakan pada peralatan kendaraan bermotor.
2. *Current Meter*
Current meter berfungsi untuk mengukur kecepatan aliran air.
3. Neraca Pegas
 Neraca pegas merupakan alat sederhana yang menggunakan pegas untuk menentukan massa benda yang diukurnya.
4. Kamera
 Kamera berfungsi sebagai alat perekam atau sebagai alat dokumentasi.
5. *Flume*
Flume adalah saluran yang penampangnya melintangnya dibuat tidak berubah-ubah.
6. Pompa Air
 Pompa air adalah peralatan mekanis yang berfungsi untuk menaikkan cairan dari daratan rendah ke daratan tinggi.
7. Turbin
 Turbin adalah alat yang memanfaatkan energi mekanik untuk bergerak/berputar.

Parameter Penelitian

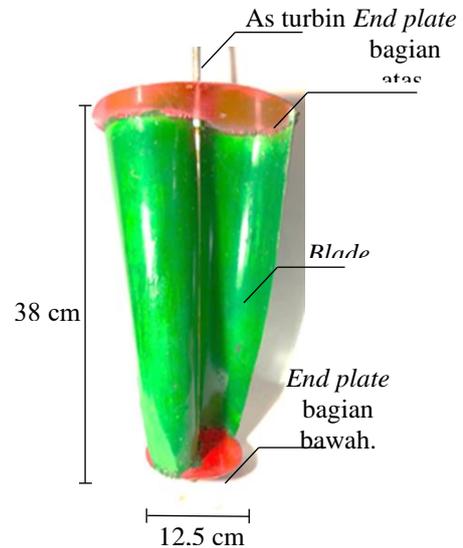
Penelitian ini menggunakan 3 variasi kedalaman aliran yaitu kedalaman 40 cm, 43 cm dan 45 cm dan 5 variasi kecepatan yang didapat pada saat pengujian, sehingga akan menghasilkan 20 data pengujian untuk satu turbin. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai torsi, RPM dan kecepatan aliran yang terjadi pada saat pengujian. Kemudian menghitung nilai C_p yang dihasilkan turbin dengan memasukkan nilai pada rumus (2).

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Desain Turbin Savonius Modifikasi

Modifikasi desain turbin Savonius terinspirasi berdasarkan bentuk pola distribusi kecepatan aliran air yang semakin ke bawah semakin mengecil. Penamaan turbin Savonius modifikasi ini didapat dari bentuk turbin itu sendiri pada saat pengujian yang menyerupai bentuk angin tornado pada saat berputar.

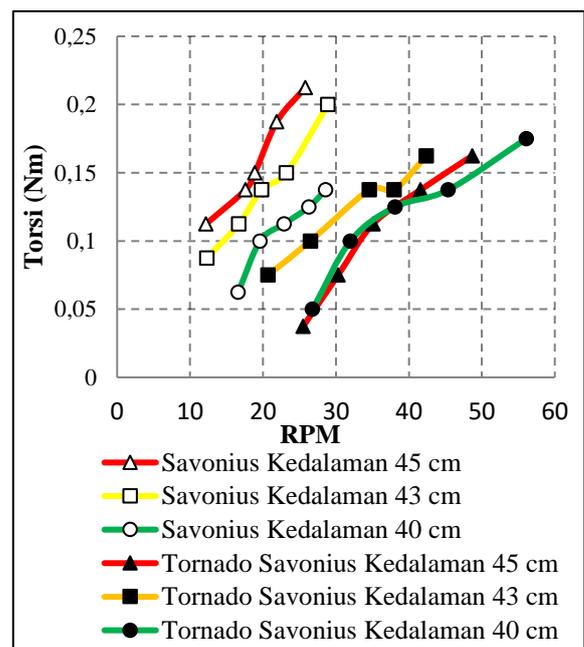
Perbedaan turbin Tornado Savonius dan turbin Savonius terletak pada lebar *blade* bagian bawah. Diameter *blade* bagian bawah turbin Savonius sebesar 25 cm sedangkan lebar *blade* bagian bawah turbin Tornado Savonius sebesar 12,5 cm atau ½ kali lebih kecil dari diameter *blade* bagian bawah turbin Savonius.



Gambar 3. Turbin Tornado Savonius.

Perbandingan Nilai Turbin.

Nilai turbin Tornado Savonius dapat dilihat dari grafik hubungan C_p dengan kecepatan aliran, dan grafik hubungan RPM dengan torsi.



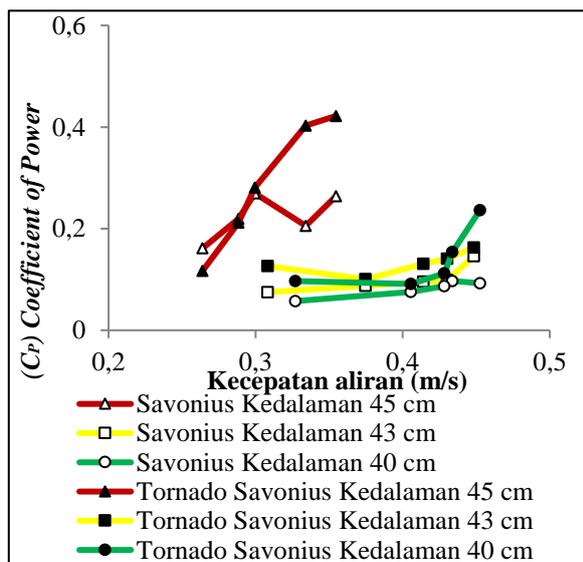
Gambar 4. Hubungan antara Torsi dan RPM.

Berdasarkan Gambar 4 dapat diketahui bahwa semakin besar RPM maka torsi yang dihasilkan akan semakin besar juga. Pada Turbin Tornado Savonius, RPM yang dihasilkan lebih besar dari pada Turbin Savonius. Namun, torsi yang dihasilkan Turbin Tornado Savonius lebih kecil dibandingkan dengan Turbin Savonius.

Tabel 1. Nilai RPM dan torsi hasil pengujian

Kedalaman Aliran	RPM		Torsi (Nm)	
	Savonius	Tornado Savonius	Savonius	Tornado Savonius
45 cm	25,8	48,7	0,213	0,163
	21,9	41,6	0,188	0,138
	18,9	35,1	0,150	0,113
	17,6	30,3	0,138	0,075
	12,2	25,5	0,113	0,038
43 cm	28,9	42,4	0,200	0,163
	23,2	38,0	0,150	0,138
	19,8	34,6	0,138	0,138
	16,7	26,5	0,113	0,100
	12,3	20,7	0,088	0,075
40 cm	28,6	56,1	0,138	0,175
	26,3	45,4	0,125	0,138
	22,9	38,1	0,113	0,125
	19,6	32,0	0,100	0,100
	16,6	26,8	0,063	0,050

Tabel 1 menunjukkan nilai RPM dan Torsi yang dihasilkan turbin Savonius dan turbin Tornado Savonius pada saat pengujian.



Gambar 5. Hubungan antara Cp dan kecepatan aliran.

Berdasarkan Gambar 5 turbin Tornado Savonius mengalami peningkatan nilai Cp yang dihasilkan seiring dengan bertambahnya kecepatan aliran pada tiap kedalaman saluran. Turbin Tornado Savonius menghasilkan nilai Cp paling tinggi dalam pengujian pada kecepatan 0,355 m/s dengan kedalaman 45 cm. Nilai Cp terkecil pada saat pengujian terjadi pada kecepatan 0,406 m/s pada kedalaman 40 cm.

Tabel 2. Nilai kecepatan aliran dan Coefficient of Power pada pengujian.

Kedalaman Aliran	Kecepatan Aliran (m/s)		Coefficient of Power	
	Savonius	Tornado Savonius	Savonius	Tornado Savonius
45 cm	0,355	0,355	0,264	0,422
	0,334	0,334	0,206	0,403
	0,300	0,300	0,270	0,281
	0,288	0,288	0,219	0,212
	0,264	0,264	0,161	0,117
43 cm	0,448	0,448	0,146	0,163
	0,430	0,430	0,099	0,141
	0,414	0,414	0,096	0,131
	0,375	0,375	0,087	0,100
	0,308	0,308	0,075	0,127
40 cm	0,453	0,453	0,092	0,237
	0,434	0,434	0,097	0,154
	0,428	0,428	0,087	0,112
	0,406	0,406	0,076	0,091
	0,327	0,327	0,057	0,097

Tabel 2 menunjukkan nilai kecepatan aliran air dan Cp pada saat pengujian.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data penelitian yang dilakukan di Laboratorium Hidraulika dan Hidrologi Universitas Palangka Raya didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. *Blade* turbin Tornado Savonius didesain berdasarkan pola distribusi kecepatan aliran. Perbedaan desain turbin Tornado Savonius dengan desain dari turbin Savonius adalah bentuk *blade* turbin Tornado Savonius yaitu mengecil pada bagian bawah *blade* Tornado Savonius dan *endplate* bagian bawah

- Tornado Savonius besarnya $\frac{1}{2}$ dari diameter *endplate* Tornado savonius bagian atas.
2. Pada rentang kecepatan aliran (v) antara 0,172 m/s–0,453 m/s, inovasi turbin Tornado Savonius menyebabkan nilai *Coefficient of Power* (C_P) turbin Tornado Savonius lebih besar dari turbin Savonius. Berdasarkan uji eksperimen pada studi ini turbin Savonius menghasilkan nilai RPM sebesar 12,2–28,9 pada saat torsi (τ) sebesar 0,063–0,213 Nm sedangkan turbin Tornado Savonius menghasilkan RPM sebesar 20,7–56,1 pada saat nilai torsi pengujian sebesar 0,038–0,175 Nm. Nilai C_P optimal yang dihasilkan turbin Savonius sebesar 0,270 dan turbin Tornado Savonius menghasilkan nilai C_P optimal sebesar 0,422.
 3. Nilai C_P yang dihasilkan turbin Tornado Savonius pada kedalaman 40 cm, 43 cm dan 45 cm lebih tinggi dibandingkan turbin Savonius pada kedalaman yang sama. Pada kedalaman 40 cm diketahui bahwa gradien perubahan kecepatan aliran terhadap C_P turbin Tornado Savonius menunjukkan nilai optimal.
 4. Desain turbin Tornado Savonius mampu mengoptimalkan konsep distribusi kecepatan aliran. Hal itu terbukti dari nilai C_P turbin Tornado Savonius yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin Savonius.
- Saran**
- Untuk penelitian selanjutnya dapat diuji cobakan secara langsung di sungai atau saluran irigasi.
- 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), p. 159. doi: 10.36055/tjst.v16i2.9186.
- Chow, V. Te. 1959. *Open-Channel Hydraulics*. Internatio. Edited by I. McGraw-Hill Book Company. New York.
- Fertahi, S. ed-D. n., Bouhai, T., Rajad. O., Kouskou, T., Arid, A. Rhafiki, L., Jamil, S & 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, pp. 266–278.
- Gerardo & Fo, T. 2003. The State of Art of Hydrokinetic Power in Brazil. *Innovative Small Hydro Technologies*, pp. 9.
- Gorlov, A. M. 2001. Tidal Energy. in *Encyclopedia of Ocean Sciences*.
- 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*. Elsevier Ltd, 86(10), pp. 1823–1835.
- Lago, L. I., Ponta, F. L. & Chen, L. 2010. Advances and trends in hydrokinetic turbine systems. *Energy for Sustainable Development*. Elsevier B.V., 14(4), pp. 287–296.
- Muis & Abdul. 2010. Turbin Air Pada PLTA Larona. *Jurnal Ilmiah Matematika dan Terapan*, 7, pp. 61–69.
- Musco, G. G. & Molfino, R. 2014. From Savonius to Bronzinus: A Comparison Among Vertical Wind Turbines. *Energy Procedia*. Elsevier B.V., 50, pp. 10–18.
- Nindito, D. A., Istiarto, I. & Kironoto, B. A. 2009. Simulasi Numeris Tiga Dimensi Kantong Lumpur Bendung Sapon. *Journal of the Civil Engineering Forum*, 18(1).
- Patel, T., Patel, S., Patel, D & Bhensdadiya, M. 2015. An Analysis of Lift and Drag Forces of NACA Airfoils using Python. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management*, 4(4), pp. 198–206.
- Ragheb, M. & Ragheb, A. M. 2011. Wind Turbines Theory - The Betz Equation and Optimal Rotor Tip Speed Ratio. *Fundamental and Advanced Topics in Wind Power*.
- Savonius, S. J. & Finland, H. 1931. Mechanical Engineering. *Mechanical Engineering*, 53(5), pp. 331–338.
- 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), pp. 32–43. doi: doi.org/10.33084/mits.v9i1.1771