

UJI EKSPERIMENTAL EFEK *TWIST* 180° TERHADAP PERFORMA TURBIN HIDROKINETIK SAVONIUS TORNADO

Andri Krismantoro Punu

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya
Jln. Hendrik Timang, Palangka Raya
e-mail: punu.andrikrismantoro@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

I Made Kamiana

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya
Jln. Hendrik Timang, Palangka Raya
e-mail: kamianamade62@eng.upr.ac.id

Abstract: The problem of increasing energy demand must be balanced with energy production. The development of water-powered energy is one alternative solution for the sustainability of life on earth. The Savonius Hydrokinetic Turbine is a type of hydroelectric power plant that can convert kinetic energy into electrical energy. River currents as a renewable energy source can rotate the turbine and convert it into electricity through a generator. This study aims to determine the effect of a 180° twist change on the Savonius Tornado Helical Hydrokinetic Turbine with a variation of the lower end plate smaller than the upper end plate. The research method was carried out by testing 4 turbine variations, namely the Savonius Hydrokinetic Turbine and the Savonius Tornado Helical Hydrokinetic Turbine D / 2, 3D / 4 and 4D / 4, where D is the diameter of the turbine end plate. The testing process was carried out in an open prismatic channel with variations in flow speed of 0.331 m / s, 0.396 m / s and 0.486 m / s. The results of the study showed that the Savonius Hydrokinetic Turbine produced a Cp (Coefficient of power) value of 0.114 - 0.226 and a TSR (Tip Speed Ratio) of 1.550 - 1.775. The performance of the Savonius Tornado Helical Hydrokinetic Turbine with end plate D / 2 was significantly higher than the Savonius Hydrokinetic Turbine, with an increase in Cp value of 11% and TSR of 12.6%. The Savonius Tornado Helical Hydrokinetic Turbine with end plate 3D / 4 increased the Cp and TSR values by 6.6% and 10%. While the Savonius Tornado Helical Hydrokinetic Turbine with end plate 4D / 4 was able to increase the Cp value by 0.4% and TSR by 2.4%.

Keywords: Hydrokinetic Turbine, Helical Savonius Tornado Hydrokinetic Turbine, End Plate

Abstrak: Permasalahan meningkatnya permintaan energi harus diimbangi dengan produksi energi. Pengembangan energi bertenaga air menjadi salah satu alternatif solusi bagi keberlangsungan kehidupan di bumi. Turbin Hidrokinetik Savonius merupakan jenis pembangkit listrik tenaga air yang dapat mengubah energi kinetik menjadi energi listrik. Arus sungai sebagai sumber energi terbarukan dapat memutar turbin dan mengubahnya menjadi listrik melalui generator. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan *twist* 180° pada Turbin Hidrokinetik Savonius Tornado Heliks dengan variasi *end plate* bawah berukuran lebih kecil *end plate* atas. Metode penelitian dilakukan dengan menguji 4 variasi turbin yaitu Turbin Hidrokinetik Savonius dan Turbin Hidrokinetik Savonius Tornado Heliks D/2, 3D/4 dan 4D/4, dimana D adalah diameter *end plate* turbin. Proses pengujian dilakukan di saluran terbuka berbentuk prisma dengan variasi kecepatan aliran 0,331 m/s, 0,396 m/s dan 0,486 m/s. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Turbin Hidrokinetik Savonius menghasilkan nilai Cp (*Coefficient of power*) sebesar 0,114 - 0,226 dan TSR (*Tip Speed Ratio*) 1,550 - 1,775. Kinerja Turbin Hidrokinetik Savonius Tornado Heliks dengan *end plate* D/2 secara signifikan lebih tinggi daripada Turbin Hidrokinetik Savonius, dengan kenaikan nilai Cp sebesar 11% dan TSR sebesar 12,6%. Turbin Hidrokinetik Savonius Tornado Heliks *end plate* 3D/4 menaikkan nilai Cp dan TSR sebesar 6,6% dan 10%. Sedangkan Turbin Hidrokinetik Savonius Tornado Heliks *end plate* 4D/4 mampu menaikkan nilai Cp sebesar 0,4% dan TSR 2,4%.

Kata kunci: : Turbin Hidrokinetik, Turbin Hidrokinetik Savonius Tornado Heliks, *End Plate*

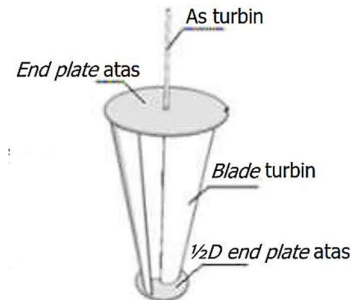
PENDAHULUAN

Penggunaan sumber energi terbarukan telah menjadi kebutuhan untuk produksi listrik (Mosbahi et al., 2019). Potensi tenaga air tersebar di seluruh Indonesia, salah satunya adalah potensi arus sungai. Permasalahan yang terjadi adalah sungai-sungai di Indonesia memiliki kecepatan aliran rata-rata relatif rendah yaitu 0,6 m/s (Ramdhani et al., 2019). Turbin hidrokinetik menjadi salah satu solusi turbin pembangkit listrik skala kecil di daerah dengan topografi relatif datar, dengan *head* (tinggi terjun) yang rendah sehingga hanya bergantung pada kecepatan aliran sungai (Nindito & Kamiana, 2010). Aliran air memiliki *density* yang lebih tinggi daripada aliran angin, yang memberikan kinerja turbin lebih baik. Perbedaan *density* inilah yang menjadi alasan dikembangkannya turbin hidrokinetik ventilator (Sucie et al., 2022b).

Ada 2 (dua) bentuk turbin hidrokinetik yaitu HAT (Horizontal Axis Turbine) dan VAT (Vertikal Axis Turbine). Contoh tipe HAT seperti Turbin Archimedes Spiral (Pratama et al., 2021). Tipe VAT seperti Turbin *Spinning Top Darrieus* (Wardani et al., 2020). Turbin *Darrieus* pada penelitian Octauria et al., (2021) memiliki kelemahan yaitu sulitnya *self-starting* pada rotornya sebab berbasis gaya angkat. *Articulating H-Rotor* adalah pengembangan dari Turbin H-Darrieus dengan tujuan memulihkan *self-starting* (Rianti et al., 2021). Turbin DNA (Antomo et al., 2020) dan Turbin Ventilator (Sucie et al., 2022a) dapat digunakan pada kondisi *low-head*. Turbin Hidrokinetik Savonius memiliki karakteristik *blade* sisi cembung dengan nilai torsi negatif, yang membuat turbin relatif tidak efisien sehingga memerlukan sistem pengarah aliran berupa *rectifier guide vane* (Ichsan et al., 2021) dan perubahan sudut pada *rectifier* (Monika et al., 2022). Turbin Savonius merupakan turbin berbasis *drag* yang digerakkan oleh perbedaan tekanan antara *blade* yang maju dan yang mundur (Salyers et al., 2017) dan ada yang didesain dengan komposisi dua tingkat (Marbun et al., 2024).

Gambar 1 menunjukkan desain dari Turbin Tornado Savonius yang menyerupai bentuk distribusi kecepatan, yang memiliki desain kecil di bagian bawah *end plate*, dan ukurannya membesar pada bagian atas *end plate* (Yudistira et al., 2021a). Distribusi kecepatan aliran air pada sebuah saluran secara umum menunjukkan

nilai kecepatan aliran yang semakin mengecil mendekati dinding batas saluran, baik dasar saluran (Nindito, 2009) maupun dinding saluran (Nindito et al., 2008).



Gambar 1. Turbin Tornado Savonius (Yudistira et al., 2021b)

Solusi permasalahan inovasi Turbin Savonius konvensional untuk meningkatkan kinerja turbin disarankan dengan mengubah bentuk Turbin Savonius Heliks dengan *twist* 180° (Damak et al., 2013). Turbin Savonius Heliks dalam hal *Coefficient of power* lebih unggul dari Turbin Savonius konvensional, dan memiliki karakteristik awal yang lebih baik (Gupta et al., 2013) serta memiliki nilai torsi statis positif pada semua sudut turbin (Kamoji et al., 2009). Turbin Savonius Heliks dengan sudut rotasi 180° yang ditunjukkan pada **Gambar 2** memiliki performa aerodinamis pada efek *end plate* dan meningkatkan *Cp* (*Coefficient of power*) serta *TSR* (*Tip Speed Ratio*) dengan rasio luas *end plate* 1,0 (Soo et al., 2014).



Gambar 2. Turbin Savonius Heliks (Soo et al., 2014)

Tujuan penelitian dalam artikel ini adalah untuk mengetahui pengaruh perubahan *twist* 180° pada Turbin Hidrokinetik Savonius Tornado terhadap performa yang dihasilkan. Kombinasi desain Turbin Hidrokinetik Savonius Tornado dan Turbin Savonius Heliks merupakan kebaruan dari penelitian ini.

Parameter Kinerja Turbin

Kecepatan sudut (ω) merupakan nilai yang dikonversi dari nilai RPM (Rotasi Per Menit) yang dihasilkan turbin seperti ditunjukkan persamaan (1) (Seralathan et al., 2020).

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

Kinerja suatu turbin dapat dinyatakan dengan nilai C_p (*Coefficient of power*) yang didefinisikan sebagai rasio antara daya mekanik turbin dan daya kinetik air. C_p dapat ditulis dalam persamaan (2) (Deb et al., 2014).

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

Nilai TSR (*Tip Speed Ratio*) didefinisikan sebagai nilai rasio antara kecepatan rotasi turbin dan kecepatan aliran. TSR (*Tip Speed Ratio*) dituliskan dalam persamaan (3) (Mosbahi et al., 2019).

$$\text{TSR} = \frac{r \cdot \omega}{V} \quad (3)$$

Keterangan:

RPM : Rotasi Per Menit (putaran/menit)

ω : Kecepatan Sudut (rad/s)

π : Phi ($\frac{22}{7}$)

C_p : *Coefficient of power*

TSR : *Tip Speed Ratio*

τ : Torsi (Nm)

ρ : Massa jenis air (kg/m^3)

A : Area bidang tangkap turbin (m^2)

V : Kecepatan aliran (m/s)

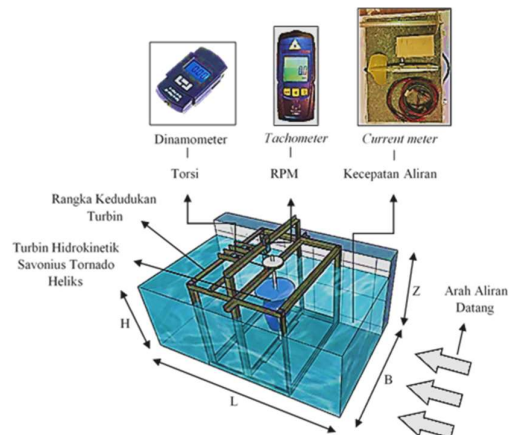
r : Radius *end plate* (m)

D : Diameter *end plate* (m)

METODE PENELITIAN

Metode penelitian dilakukan secara eksperimental dengan melakukan pengujian di saluran prismatik (*flume*) Laboratorium Hidraulika dan Hidrologi Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan *twist* 180° pada Turbin Hidrokinetik

Savonius Tornado terhadap kinerja yang dihasilkan. Variasi jenis turbin yang diujikan meliputi Turbin Hidrokinetik Savonius Heliks dengan cara memutar *blade* 180° dan mengganti diameter *end plate* bawah (D) menjadi $D/2$, $3D/4$ dan $4D/4$, dan Turbin Hidrokinetik Savonius konvensional. Variasi kecepatan aliran (V) yang diujikan yaitu 0,331 m/s, 0,396 m/s dan 0,486 m/s. Performa turbin yang diteliti adalah *Coefficient of power* (C_p), RPM, torsi (τ) serta *Tip Speed Ratio* (TSR).



Gambar 3. Skema Pengujian Turbin Hidrokinetik Savonius Tornado Heliks

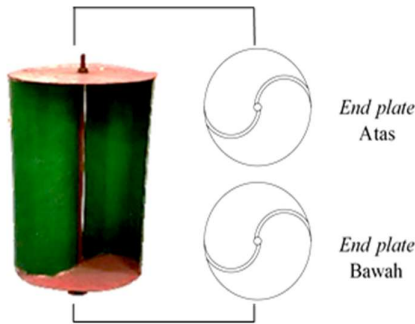
Gambar 3 menunjukkan skema pengujian Turbin Hidrokinetik Savonius Tornado Heliks di saluran *flume* dengan dimensi panjang (L) 4,1 m, lebar (B) 1,0 m, kedalaman aliran (H) 0,6 m serta tinggi *flume* (Z) 0,8 m. Mesin penggerak GENERAL CX200 digunakan untuk mengalirkan air di dalam saluran *flume* yang mengakibatkan turbin berputar. Pengambilan data kecepatan aliran (V) diukur dengan menggunakan alat *flow meter* F1 SEBA F1519. Pengukuran data Rotasi Per Menit (RPM) menggunakan alat *tachometer* GM8905. Pengukuran gaya (N) menggunakan alat *dynamometer digital display* WH-A08. Nilai torsi (τ) diperoleh dengan mengkalikan gaya (N) dan panjang lengan (m).

Tabel 1. Kode *Running* Pengujian Turbin

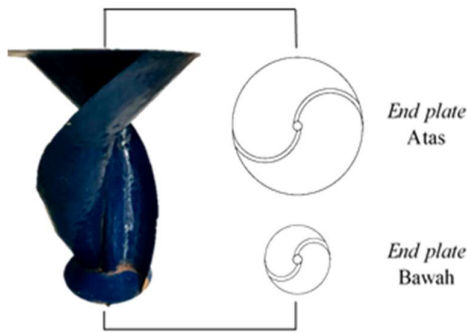
Nama Turbin	Kode <i>Running</i>
Hidrokinetik Savonius	TS
Hidrokinetik Savonius Tornado Heliks D/2	TH1
Hidrokinetik Savonius Tornado Heliks 3D/4	TH2

Hidrokinetik Savonius Tornado Heliks TH3
4D/4

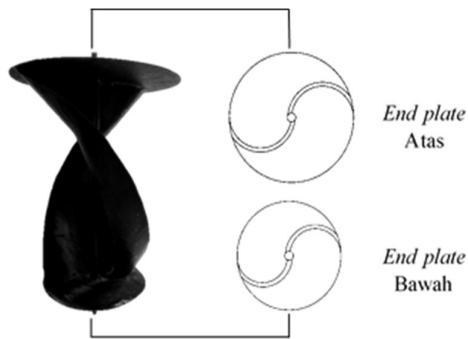
Tabel 1 menunjukkan 4 variasi kode *running* pengujian turbin yang digunakan pada uji eksperimen ini. Ukuran dan komponen turbin ditunjukkan pada **Tabel 2**. Hasil desain Turbin Hidrokinetik Savonius dan variasi Turbin Hidrokinetik Savonius Tornado Heliks dapat dilihat pada **Gambar 4**.



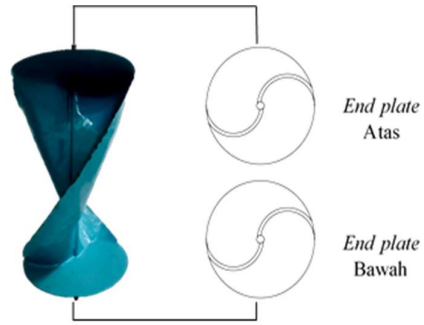
(a) Turbin Hidrokinetik Savonius



(b) Turbin Hidrokinetik Savonius Tornado Heliks D/2



(c) Turbin Hidrokinetik Savonius Tornado Heliks 3D/4



(d) Turbin Hidrokinetik Savonius Tornado Heliks 4D/4

Gambar 4. Hasil Desain Turbin Hidrokinetik Savonius dan Turbin Hidrokinetik Savonius Tornado Heliks dengan Variasi ukuran *End Plate*

Tabel 2. Parameter Komponen Variasi Turbin

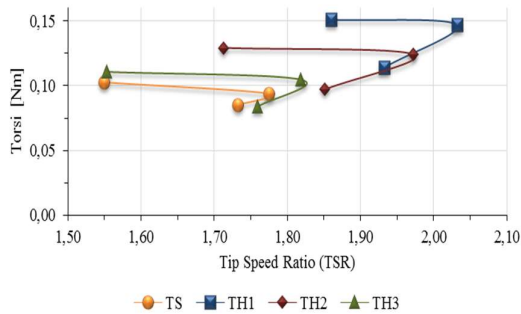
Kode <i>Running</i>	Diameter <i>End plate</i> Atas	Diameter <i>End plate</i> Bawah	Tinggi Turbin
TS	0,25 m	0,25 m	0,38 m
TH1	0,334 m	0,167 m	0,38 m
TH2	0,285 m	0,214 m	0,38 m
TH3	0,25 m	0,25 m	0,38 m

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji eksperimental dengan melakukan pengukuran dan perhitungan yang diperoleh berupa nilai RPM, torsi, *Coefficient of power* (C_p), dan *Tip Speed Ratio* (TSR). Data hasil pengujian ditampilkan pada **Tabel 3**.

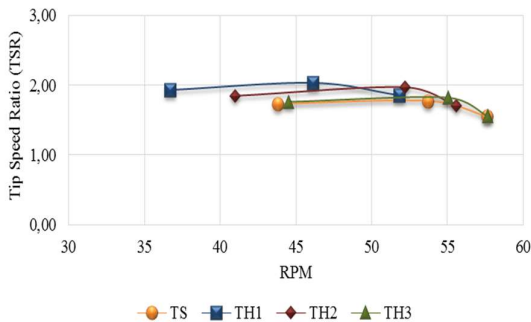
Tabel 3. Data Hasil Pengujian Turbin

Kode <i>Running</i>	Kecepatan Aliran (V) (m/s)	RPM (putaran/mnt)	Torsi (Nm)	C_p	TSR
TS	0,331	43,8	0,085	0,226	1,732
	0,396	53,7	0,094	0,179	1,775
	0,486	57,6	0,103	0,114	1,550
TH1	0,331	36,7	0,114	0,254	1,932
	0,396	46,1	0,147	0,241	2,032
	0,486	51,8	0,151	0,150	1,860
TH2	0,331	41	0,097	0,242	1,852
	0,396	52,2	0,124	0,230	1,972
	0,486	55,6	0,129	0,138	1,712
TH3	0,331	44,5	0,084	0,227	1,759
	0,396	55	0,105	0,205	1,818
	0,486	57,7	0,111	0,123	1,553



Gambar 5. Grafik Hubungan antara Torsi (Nm) dan *Tip Speed Ratio* (TSR)

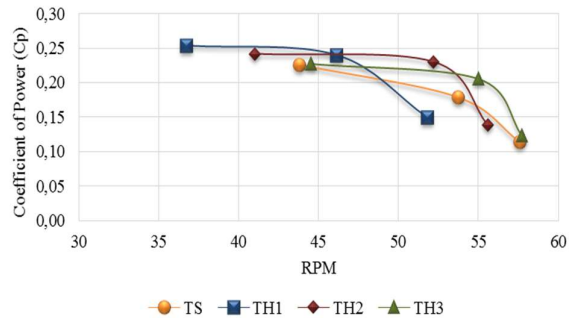
Gambar 5 menunjukkan grafik hubungan antara torsi (Nm) dan *Tip Speed Ratio* (TSR) pada Turbin Hidrokinetik Savonius dan Turbin Hidrokinetik Savonius Tornado Heliks. Nilai torsi menunjukkan bahwa pada turbin TH1 memiliki nilai torsi 0,114 - 0,151 Nm dengan TSR antara 1,932 - 2,032. Turbin TH2 memiliki nilai torsi 0,097 - 0,129 Nm dengan TSR antara 1,852 - 1,972. Turbin TH3 mendapatkan nilai torsi 0,084 - 0,111 Nm dan TSR antara 1,759 - 1,818, sedangkan turbin TS memiliki nilai torsi 0,085 - 0,103 Nm dan TSR antara 1,550 - 1,775. Dari hasil analisis diketahui bahwa Turbin Hidrokinetik Savonius Tornado Heliks mampu menaikkan TSR dan torsi. Diameter *end plate* bawah $D/2$ (TH1) memberi peningkatan signifikan dari Turbin Hidrokinetik Savonius.



Gambar 6. Grafik Hubungan antara *Tip Speed Ratio* (TSR) dan RPM

Gambar 6 menunjukkan grafik hubungan antara *Tip Speed Ratio* (TSR) dan RPM pada Turbin Hidrokinetik Savonius dan Turbin Hidrokinetik Savonius Tornado Heliks. Nilai RPM tertinggi terjadi pada turbin TH3 memiliki nilai RPM 57,7 putaran/mnt pada TSR 1,553, dan turbin TS memiliki nilai RPM 57,7 putaran/mnt pada TSR 1,550. Pada turbin TH2 mendapatkan nilai RPM 55,6 putaran/mnt pada TSR 1,712, dan turbin

pada TH1 memiliki nilai RPM 51,8 putaran/mnt pada TSR 1,860. Kenaikan RPM tertinggi dihasilkan oleh pengujian Turbin Hidrokinetik Savonius Tornado Heliks *end plate* 4D/4 (TH3) pada kondisi TSR yang rendah.



Gambar 7. Grafik Hubungan antara *Coefficient of power* (Cp) dan RPM

Gambar 7 menunjukkan grafik hubungan antara *Coefficient of power* (Cp) dan RPM. Pada turbin TH1 mendapatkan nilai tertinggi Cp sebesar 0,254 yang berada pada RPM 36,7 putaran/mnt. Turbin TH2 memperoleh nilai tertinggi Cp sebesar 0,242 pada RPM 41 putaran/mnt, pada turbin TH3 memiliki nilai tertinggi Cp sebesar 0,227 berada pada RPM 44,5 putaran/mnt. Turbin TS memiliki nilai Cp 0,226 pada RPM 36,7 putaran/mnt.

KESIMPULAN

Hasil studi eksperimental performa Turbin Hidrokinetik Savonius Tornado Heliks *twist* 180° pada pengujian ukuran diameter *end plate* $D/2$, $3D/4$ dan $4D/4$ dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Turbin Hidrokinetik Savonius Tornado Heliks *twist* 180° $D/2$ (TH1) memiliki keunggulan dari variasi turbin lainnya (pada kondisi tinggi turbin dan area bidang tangkap yang sama). Turbin Hidrokinetik Savonius Tornado Heliks *twist* 180° $D/2$ (TH1) mampu menaikkan nilai Cp dan TSR. Turbin Hidrokinetik Savonius Tornado Heliks *twist* 180° $4D/4$ (TH3) mendapatkan nilai RPM tertinggi sebesar 44,5 - 57,7 putaran/menit. Turbin Hidrokinetik Savonius Tornado Heliks *twist* 180° $D/2$ (TH1) memiliki nilai torsi yang tinggi sebesar 0,114 - 0,151 Nm.
2. Semakin tinggi kecepatan aliran maka nilai torsi semakin tinggi yang dihasilkan. Semakin tinggi torsi yang dihasilkan oleh turbin maka semakin tinggi performa turbin.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Hidraulika dan Hidrologi Jurusan Teknik Sipil Universitas Palangka Raya. Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada pihak telah menyediakan sarana dan prasarana dalam penelitian ini sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan 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(02), 159–170.
<https://doi.org/10.36055/tjst.v16i2.9186>
- Damak, A., Driss, Z., & Abid, M. S. (2013). Experimental investigation of helical Savonius rotor with a twist of 180°. *Renewable Energy*, 52, 136–142.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.10.043>
- Deb, B., Gupta, R., & Misra, R. D. (2014). Experimental analysis of a 20° twist helical Savonius rotor at different overlap conditions. *Applied Mechanics and Materials*, 592–594, 1060–1064.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.592-594.1060>
- Gupta, R., Deb, B., & Misra, R. D. (2013). Performance Analysis of a Helical Savonius Rotor with Shaft at 45° Twist Angle Using CFD. *Mechanical Engineering Research*, 3(1), 118. <https://doi.org/10.5539/mer.v3n1p118>
- 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), 96–107.
<https://doi.org/10.26760/rekaracana>
- Kamoji, M. A., Kedare, S. B., & Prabhu, S. V. (2009). Performance tests on helical Savonius rotors. *Renewable Energy*, 34(3), 521–529.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.06.002>
- Marbun, B. H., Nindito, D. A., & Jaya, A. R. (2024). Pengaruh Komposisi Dua Tingkat Turbin Hidrokinetik Savonius Terhadap Torsi yang Dihasilkan. *Jurnal Teknik: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Keteknikan*, 7(2), 59–66.
- Monika, Y., Nindito, D. A., & Yupi, H. M. (2022). Efek Sudut Odgv Terhadap Profil Distribusi Kecepatan Aliran Di Hilir Turbin Hidrokinetik Savonius. *Jurnal Teknik: Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Keteknikan*, 6(1), 42–48.
<https://doi.org/10.52868/jt.v6i1.7691>
- Mosbahi, M., Ayadi, A., Chouaibi, Y., Driss, Z., & Tucciarelli, T. (2019). Performance study of a Helical Savonius hydrokinetic turbine with a new deflector system design. *Energy Conversion and Management*, 194(February), 194, 55–74.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.04.080>
- Nindito, D. A. (2009). Pengaruh Profil Distribusi Kecepatan Terhadap Hasil Perhitungan Kecepatan Gesek Pada Aliran Bersedimen Di Lokasi Pengukuran Arah Transversal Saluran Tampang Segiempat. *PROTEKSI(Program Studi Teknik Sipil)*, 1(01), 8–15.
- Nindito, D. A., Istiarto, & Kironoto, B. (2008). Simulasi Numerik Tiga Dimensi Kantong Lumpur Bendung Sapon. *Civil Engineering Forum Teknik Sipil, XVIII(1)*, pp, 712-724.
- Nindito, D. A., & Kamiana, I. M. (2010). Perencanaan Model PLTA Skala Kecil Berbasis Teknologi Lokal di Daerah Pemukiman Tepi Sungai. *Jurnal PROTEKSI (Program Studi Teknik Sipil): Vol. II* (02), hal. 1–52.
- Octauria, E., 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>
- 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>
- Ramdhani, M. A., & Diana, L. (2019). Performance Analysis of Helical Savonius River Current Turbine Using Computational Fluid Dynamic. *2019 International Electronics Symposium (IES)*, [https://doi.org/595–600](https://doi.org/595-600). 10.1109/ELECSYM.2019.8901584
- Rianti, D., Nindito, D. A., & Saputra, R. H. (2021). Pengaruh Kemiringan Straight Blade Terhadap Peningkatan Kemampuan Self-Starting Turbin Hidrokinetik Articulating H-Rotor. *Teknika*, 16(2), 78–88.
<https://doi.org/10.26623/teknika.v16i2.3981>
- Salyers, T., Rahman, M., & Ahmed, M. (2017). Investigation Of Aerodynamic Performance Of Helical Shape Vertical-Axis Wind Turbine Models With Various Number Of Blades Using Wind Tunnel Testing And Computational Fluid Dynamics. *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, 50619, 1–14. <https://doi.org/10.1115/IMECE2016-68081>
- Seralathan, S., Pavan, C., Sai, V., Prakash, B., Venganna, R., Srinivas, N. S., Chowdary, B. L., Hariram, V., & Premkumar, T. M. (2020). *Materials Today : Proceedings Simulation*

- studies to analyze the static mechanical properties of helical Savonius vertical axis wind turbine blade. *Materials Today: Proceedings*, 33, 3737-3745, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.139>
- Soo, K., Ik, J., Pan, J., & Ryu, K. (2015). Effects of end plates with various shapes and sizes on helical Savonius wind turbines. *Renewable Energy*, 79, 167-176. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.11.035>
- Sucie, E., Nindito, D. A., & Jaya, A. R. (2022a). Kinerja Turbin Hidrokinetik Ventilator. *Jurnal Teknika: Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Keteknikan*, 5(2), 59–64. <https://doi.org/10.52868/jt.v5i2.7650>
- Sucie, E., Nindito, D. A., & Jaya, A. R. (2022b). Uji Eksperimental Pengaruh Konfigurasi Bilah Terhadap Performa Turbin Ventilator di Air. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 08(03), 144–153. <https://doi.org/10.26760/rekaracana.v8i3.144>
- Wardani, C. S., Nindito, D. A., & Jaya, A. R. (2020). Inovasi Dan Desain Turbin Hidrokinetik Darrieus Berdasarkan Bentuk Distribusi Kecepatan Aliran. *Media Ilmiah Teknik Sipil*, 9(1), 32–43. <https://doi.org/10.33084/mits.v9i1.1771>
- Yudistira, R., Nindito, D. A., & Saputra, R. H. (2021a). Kinerja Turbin Hidrokinetik Tornado Savonius. *Jurnal Teknika: 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. (2021b). Uji Eksperimental Pengembangan Turbin Hidrokinetik Savonius Berdasarkan Bentuk Profil Distribusi Kecepatan Aliran. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 7(1), 215–225. <https://doi.org/10.26760/rekaracana>