

PENGARUH JUMLAH SUDU TERHADAP KINERJA TURBIN SAVONIUS TIPE DRAG PADA ALIRAN AIR DALAM PIPA

Agus Jamaldi ¹⁾ ✉, Arif Hidayat Purwono ¹⁾, Deny Andriyansyah ¹⁾, Emanuel Budi Raharjo²⁾

¹⁾**Jurusan Teknik Mesin**

Sekolah Tinggi Teknologi “Warga”
Surakarta
Jl. Raya Solo - Baki No.Km 2, Grogol,
Sukoharjo, Jawa Tengah
agus.jamaldi@sttw.ac.id
arif_hp@sttw.ac.id
deni.andriyansyah@sttw.ac.id

²⁾**Jurusan Teknik Elektronika**

Sekolah Tinggi Teknologi “Warga”
Surakarta
Jl. Raya Solo - Baki No.Km 2, Grogol,
Sukoharjo, Jawa Tengah
emanuelbr@sttw.ac.id

Abstract

The concept of clean and renewable energy is currently a focus developed continuously. One of the abundant sources of clean and renewable energy is water. A water turbine is a mechanism to generate electrical energy by utilizing the water flow. Pico or nano hydro turbines produce electrical energy by taking advantage of the flow of water that rotates the shaft of the electric generator. This experimental study aims to analyze the effect of differences in the number of blades on a Horizontal axis drag-type Savonius turbine mounted of water flow in a vertical pipe. The variations of blades number used in the study are 3, 4, 6, 8, 10, and 12. The potential energy of the water is kept constant with a constant head of 2 meters. Four main parameters used as a benchmark for the performance of water turbines are rotor rotation, voltage, current and electrical power generated. The results showed that the rotor rotation, voltage, current, and generated electrical power decreased as the number of blades used increased. The water turbine of 3 blades produces the best performance compared to the other one. The magnitude of the rotor rotation, voltage, current, and electrical power generated is 846 rpm, 15.28 volts, 0.61 amperes, and 9.38 Watts, respectively.

Keywords: *Blade Number, Electrical Energy, Potential Energy, Savonius Turbine, Water Turbine.*

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi di dunia setiap tahun terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi yang begitu cepat. Seiring dengan pertumbuhan ekonomi, kebutuhan energi listrik meningkat hari demi hari ^[1]. Energi dari fosil diprediksi akan meningkat setiap tahunnya sampai dengan 2050 sebesar 3,5%. Pangsa konsumsi energi final per jenis masih didominasi oleh BBM (avgas, avtur, bensin, minyak tanah, minyak solar, minyak diesel, dan minyak bakar) yaitu sebesar 42%. Besarnya konsumsi BBM itu dikarenakan penggunaan teknologi peralatan BBM masih lebih efisien dibanding peralatan lainnya, terutama di sektor transportasi. Efek negatif bahan bakar fosil terhadap lingkungan mendorong beralihnya ke sumber energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan ^[2]. Hal ini mendorong banyak peneliti untuk melakukan terobosan terkait sumber energi yang bersumber dari energi terbarukan.

Dari beberapa sumber energi terbarukan, air merupakan salah satu potensi energi yang keberadaannya melimpah. Potensi dari Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) diprediksi mampu mencapai 75.000 MW, namun penggunaannya saat ini masih sekitar 4.621 MW atau 6% saja dari total potensi

Corresponding Author:

✉ Agus Jamaldi

Received on: 2022-08-25

Revised on: 2024-03-20.

Accepted on: 2024-03-21.

yang ada [3]. Sebagai salah satu sumber energi bersih dan terbarukan, *small-scale hydropower* banyak diteliti dan dikembangkan oleh para peneliti [4-6]. Penelitian lebih lanjut telah banyak dilakukan terkait metode *Rain Water Harvesting* (RWH), yaitu suatu metode untuk menampung air hujan pada sebuah penampungan sebelum digunakan kembali untuk tujuan yang lebih spesifik. Penelitian secara eksperimen tentang RWH menggunakan single-stage dengan tipe turbin Savonius telah dilakukan oleh Rosmin, dkk. [7]. Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa turbin Savonius menghasilkan voltase dan arus yang konstan. Beberapa penelitian terkait modifikasi turbin Savonius dengan tujuan untuk meningkatkan kinerjanya telah dilakukan oleh para peneliti terdahulu. Modifikasi yang dilakukan didominasi dengan merubah aspek geometri, *overlap ratio* [8] dan penggunaan turbin *multi-stage*. Penelitian yang lain juga melakukan perubahan bentuk *blade* turbin Savonius sumbu horizontal (HAWT) [9-10]. Untuk jumlah energi yang lebih besar maka digunakan hidrokinetik turbin sumbu horizontal. Sedangkan untuk hidrokinetik turbin sumbu vertikal cocok digunakan untuk generator daya skala kecil yang umumnya digunakan untuk penerangan jalan, pompa air, dan pemurnian air. Aliran air dengan kecepatan rendah yang mengalir pada suatu saluran dapat digunakan untuk menghasilkan daya yang mengalir melewati hidrokinetik turbin sumbu vertikal. Turbin Savonius adalah turbin hidrokinetik sumbu vertikal sederhana yang bekerja dengan memanfaatkan *drag force* dari aliran yang menghantam sudu turbin. Untuk beberapa keperluan, turbin Savonius ini juga dapat dirubah atau digunakan dengan menggunakan sumbu horizontal [9,10]. Pemanfaatan turbin ini adalah untuk menghasilkan daya listrik dari hasil putaran poros turbin atau torsi yang diintegrasikan dengan generator listrik.

Saat ini banyak perusahaan dan peneliti yang melakukan penelitian terkait hidrokinetik turbin. Secara umum hidrokinetik turbin diklasifikasikan kedalam dua kategori, yaitu *horizontal axis hydrokinetic rotors* (HAHRs) dan *vertical axis hydrokinetic rotors* (VAHRs) [11]. VAHRs lebih cocok diaplikasikan pada *hydropower* skala kecil dikarenakan kemampuannya untuk merespon aliran air dari segala arah dan biaya perawatan yang murah [12]. Modifikasi pada turbin Savonius telah banyak dilakukan oleh para peneliti dengan tujuan untuk meningkatkan *power coefficient* yang dihasilkan. Modifikasi yang banyak dilakukan yaitu variasi *overlap* dari sudu turbin [13]. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan performa turbin dengan mengurangi torsi negatif yang terjadi. *Overlap* optimal untuk mendapatkan *power coefficient* yang maksimum berkisar antara 0,1-0,15 [14]. Metode lain yaitu dengan menambah jumlah sudu turbin untuk meningkatkan daya yang dihasilkan turbin [15]. Wenehenubun, dkk. [16] melakukan penelitian menggunakan turbin Savonius tipe *semi-cylindrical* dengan tiga variasi jumlah sudu, yaitu 2, 3, dan 4. Hasil penelitian yang didapat yaitu jumlah sudu 3 menghasilkan *tip speed ratio* (TSR) tertinggi dan performa terbaik dibandingkan dengan jumlah sudu yang lain. Salah satu upaya untuk meningkatkan kinerja turbin dapat ditambahkan komponen lain, salah satunya dengan menggunakan *deflector* pada bagian masuk sudu turbin [17]. Selain menggunakan *deflector* beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa modifikasi yang dilakukan pada bagian *blade* seperti *overlap ratio*, *aspect ratio*, *blade shape* dan lainnya dapat mempengaruhi kinerja turbin itu sendiri.

Pengaplikasian turbin angin Savonius pada aliran air saat ini banyak dikembangkan. Teknologi hidrokinetik ini mulai banyak diminati sebagai pembangkit listrik. Dengan fluida penggerak berupa air, momentum yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan fluida berupa udara dalam kecepatan yang sama. Sarma, dkk. [18] melakukan penelitian dengan mengaplikasikan turbin Savonius pada aliran air dengan kecepatan rendah antara 0,3-0,9 m/s. Hasil penelitian yang dilakukan disimpulkan bahwa daya yang dihasilkan meningkat sebesar 61,32% dibandingkan menggunakan fluida udara pada kecepatan aliran yang sama. Penelitian yang lain dilakukan oleh Kacprzak, dkk. [19], di mana penelitian

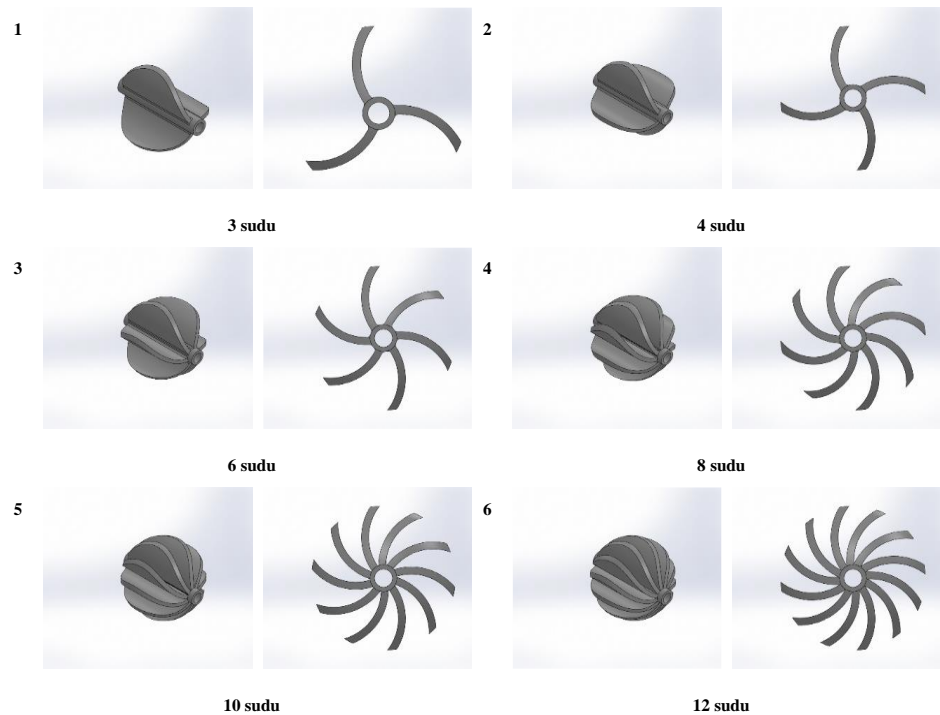
berfokuskan pada modifikasi bentuk rotor untuk mendapatkan performa yang terbaik pada turbin Savonius. Optimasi sudut kelengkungan sudu dengan variasi sudut 60° , 65° , 70° , 76° , 80° , 85° , dan 90° diterapkan pada rotor Savonius *hydrokinetic turbine* menghasilkan kinerja terbaik pada sudut 70° [20]. Jumlah sudu dan debit aliran memberikan kontribusi dalam performa turbin Savonius, seperti penelitian yang dilakukan oleh Pietersz, dkk. [21]. Penggunaan variasi jumlah sudu 6, 7, 9 dan 11 dengan debit $0,013 \text{ m}^3/\text{s}$ - $0,016 \text{ m}^3/\text{s}$ menghasilkan performa terbaik pada jumlah sudu 11 dan debit $0,016 \text{ m}^3/\text{s}$. Optimasi dengan meningkatkan kecepatan fluida yang masuk ke sudu turbin telah banyak dikembangkan. Salah satu mekanisme yang digunakan yaitu penggunaan *blocking* sistem atau pengarah aliran. Terbukti dari hasil penelitian Golecha, dkk. [22] momentum aliran meningkat sehingga performa turbin juga meningkat. Pada penelitian lain, turbin angin Savonius diaplikasikan pada aliran air di dalam pipa. *Vertical Axis Water Turbine* (VWAT) dikembangkan dengan memodifikasi turbin Savonius menjadi turbin tipe *drag* yang diaplikasikan pada pipa horizontal berdiameter 88 mm, daya maksimum yang dihasilkan sebesar 88,2 Watt pada kecepatan aliran air sebesar $1,5 \text{ m/s}$ [23].

Berdasarkan uraian di atas, sebuah potensi peluang untuk dikembangkannya pembangkit listrik tenaga air skala piko *Horizontal Axis Water Turbine* (HAWT) yang diaplikasikan pada aliran air dalam pipa arah vertikal menjadi topik menarik untuk diteliti. Penelitian menggunakan *head* maksimum setinggi 2 m. Turbin yang digunakan adalah turbin Savonius yang telah dimodifikasi menjadi turbin tipe *drag* yang cocok untuk sistem perpipaan. Dengan memvariasikan jumlah sudu dan sistem *blocking* diharapkan akan mendapatkan sebuah turbin yang menghasilkan performa optimal. Fokus penelitian yang dilakukan yaitu untuk menganalisis putaran rotor turbin, mengukur voltase, arus listrik dan daya listrik yang dihasilkan.

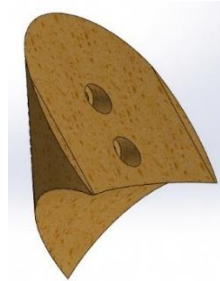
2. METODE DAN PERALATAN PENGUJIAN

2.1. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan secara eksperimen. Penelitian diawali dengan tahap desain sudu turbin tipe *drag* dan sistem *blocking*. Proses desain menggunakan *software* desain *SolidWorks*. Variasi jumlah sudu yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak enam variasi, yaitu 3, 4, 6, 8, 10, dan 12. Diameter rotor turbin sebesar 80 mm dengan ketebalan tiap bilah sudu 3 mm. Rotor dipasang pada saluran pipa dengan diameter 82 mm disertai dengan sistem *blocking* dengan sudut kemiringan 40° didalamnya. Sistem *blocking* ini berfungsi untuk mengarahkan aliran agar langsung menuju ke sudu turbin, seperti yang ditampilkan pada Gambar 1. Hasil dari desain sudu turbin dan sistem *blocking* kemudian dicetak dengan menggunakan teknologi *3D printing*. Dengan adanya teknologi ini maka mempermudah para peneliti untuk dapat merealisasikan berbagai desain pendukung penelitiannya dengan cepat, mudah dan akurat [24].



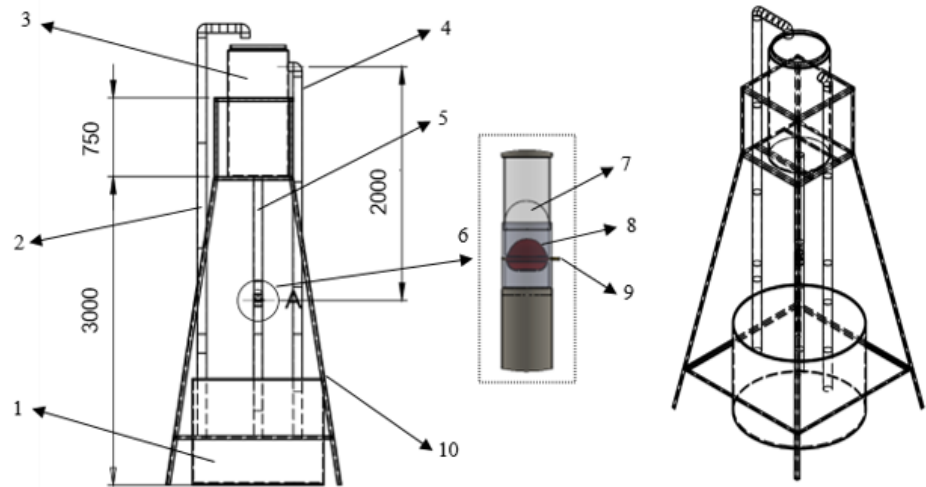
(a)



(b)

Gambar 1. (a) Variasi jumlah sudu turbin dan (b) sistem *blocking* pada saluran pipa.

Penelitian eksperimen skala laboratorium dilakukan dengan menggunakan skema instalasi uji yang telah disiapkan seperti yang ditampilkan pada Gambar 2. Air dialirkan ke atas masuk ke dalam tangki penampungan menggunakan pompa dengan kapasitas 1200 lpm. Ketinggian air dijaga konstan dengan menggunakan mekanisme *overflow* dengan tujuan *head* yang digunakan untuk memutar rotor selalu bernilai konstan. Energi potensial dari aliran air ini digunakan untuk menggerakkan rotor turbin. Poros dari rotor turbin digunakan untuk memutar generator. Hasil putaran generator ini kemudian menghasilkan aliran listrik. Selanjutnya energi listrik yang telah dihasilkan disimpan ke dalam baterai yang telah disediakan.



Keterangan:

- | | |
|-------------------------------------|--|
| 1. Tampung air | 6. Sistem <i>blocking</i> dan rotor turbin |
| 2. Pipa saluran air ke penampungan | 7. <i>Blocking</i> |
| 3. Tangki penampungan atas | 8. Rotor turbin |
| 4. Pipa saluran <i>overflow</i> | 9. Poros rotor |
| 5. Pipa saluran air menuju ke rotor | 10. Rangka |

Gambar 2. Skema instalasi uji

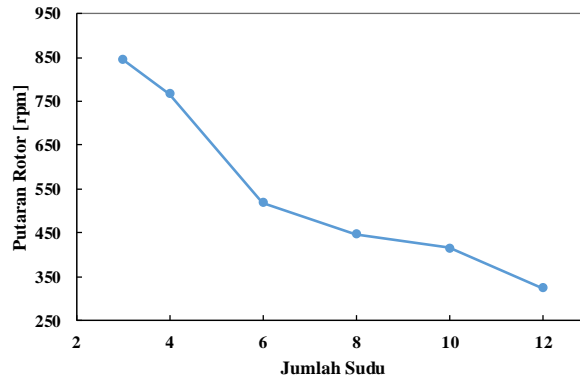
2.2. Peralatan Penelitian

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *flow meter*, *tachometer*, generator, multimeter dan baterai serta alat perkakas penunjang yang lain. *Flow meter* digunakan untuk mengukur kecepatan aliran air yang berada pada saluran pipa. *Tachometer* digunakan untuk mengukur kecepatan putar poros rotor yang diakibatkan oleh aliran air yang memutar sudu turbin. Generator berfungsi untuk mengkonversi gerakan mekanis rotor menjadi energi listrik. Besarnya energi listrik yang dihasilkan oleh generator ini diukur dengan menggunakan multimeter, dengan demikian dapat diketahui kinerja dari turbin air itu sendiri dengan parameter voltase dan arus yang dihasilkan. Selanjutnya energi listrik yang dihasilkan oleh generator disimpan ke dalam baterai.

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1. Analisis Putaran Rotor

Putaran rotor turbin air di dalam pipa yang dipengaruhi oleh variasi jumlah sudu ditampilkan pada Gambar 3.

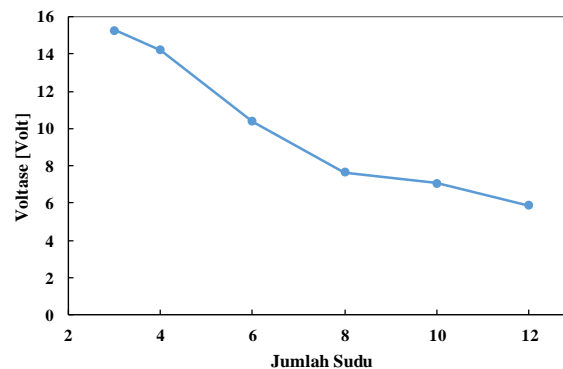


Gambar 3. Hubungan putaran rotor dengan variasi jumlah sudu

Berdasarkan grafik hubungan putaran rotor dengan variasi jumlah sudu yang ditampilkan pada Gambar 3 dapat diketahui bahwa semakin banyak jumlah sudu yang digunakan maka putaran rotor semakin menurun. Hal ini disebabkan oleh banyaknya aliran air yang ikut bersirkulasi pada bagian rotor ketika sudu berputar, sehingga tidak langsung dapat mengalir ke bawah menuju saluran pembuangan. Dengan semakin banyaknya jumlah sudu yang digunakan maka luasan permukaan sudu yang dihantam oleh energi potensial air juga semakin berkurang, sehingga hal ini menyebabkan putaran rotor juga berkurang. Berkurangnya luas permukaan sudu yang dihantam oleh aliran air ini menyebabkan terjadinya gaya hambat negatif yang semakin meningkat, sehingga menghambat putaran rotor dan berakibat semakin banyak sudu maka putaran rotor semakin berkurang.

3.2. Analisis Tegangan Listrik

Voltase listrik yang dihasilkan oleh generator dengan variasi jumlah sudu ditampilkan pada Gambar 4.



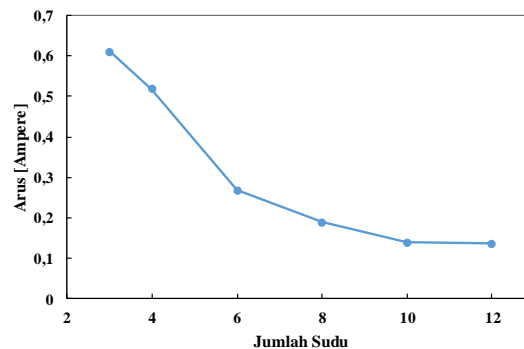
Gambar 4. Voltase listrik yang dihasilkan generator dengan variasi jumlah sudu

Hasil penelitian didapatkan bahwa seiring dengan bertambahnya jumlah sudu yang digunakan maka nilai voltase semakin berkurang. Voltase tertinggi yang didapat yaitu sebesar 15,23 *Volt* dengan jumlah sudu sebanyak 3 buah. Kemudian terus menurun sampai terakhir pada jumlah sudu sebanyak 12 buah dengan voltase yang dihasilkan sebesar 5,88 *Volt*. Penurunan voltase rata-rata dari tiap penambahan jumlah sudu yang digunakan yaitu sebesar 16,9%.

Grafik voltase yang dihasilkan ini memiliki keserupaan dengan trend grafik putaran rotor turbin. Secara teoritis besarnya voltase yang dihasilkan oleh generator berbanding lurus dengan kecepatan putar poros. Semakin tinggi putaran maka voltase yang dihasilkan juga semakin besar, begitu juga sebaliknya. Hal ini terjadi karena jumlah sudu yang sedikit menjadikan gaya hambat negatif relatif kecil dan jarak antara sudu terhadap poros yang cukup renggang menjadikan aliran dapat menghantam sudu lainnya lebih maksimal. Sedangkan ketika jumlah sudu bertambah banyak maka terjadi intensitas aliran air yang ikut bersirkulasi pada bagian rotor semakin banyak ketika sudu berputar, sehingga tidak langsung dapat mengalir ke bawah menuju saluran pembuangan. Dengan jumlah sudu yang bertambah maka celah antar sudu juga semakin sempit, sehingga mengakibatkan penurunan tekanan pada tiap bilah sudu. Penurunan tekanan pada permukaan sudu ini disebabkan oleh penuruan luasan kontak antara permukaan sudu dengan aliran air yang melewatinya. Semakin bertambah jumlah sudu yang digunakan maka luasan permukaan sudu semakin berkurang. Sehingga energi potensial yang dihasilkan aliran air tidak secara optimal dikonversi menjadi energi mekanik oleh sudu karena permukaan kontak yang berkurang, maka putaran rotor juga semakin berkurang. Grafik di atas menunjukkan bahwa turbin dengan sudu 3 dan 4 mampu menghasilkan tegangan listrik yang memenuhi kriteria sistem pengisian baterai berkapasitas 12 Volt.

3.3. Analisis Arus Listrik

Besarnya arus listrik yang mampu dihasilkan oleh generator ditampilkan pada Gambar 5.

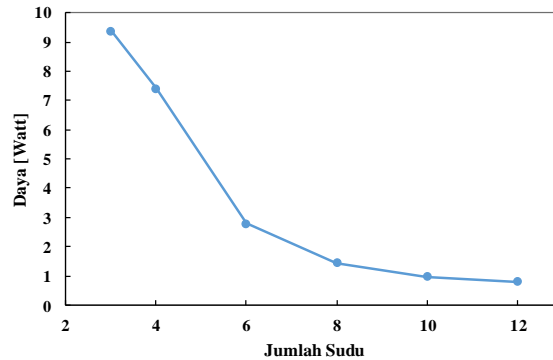


Gambar 5. Hubungan arus listrik yang dihasilkan dengan variasi jumlah sudu

Dari gambar 5 dapat diketahui bahwa arus listrik yang dihasilkan memiliki trend yang menurun dengan semakin banyaknya jumlah sudu turbin. Arus tertinggi didapatkan pada jumlah sudu sebanyak 3 buah yaitu sebesar 0,61 A. Kemudian terjadi penurunan arus listrik dengan bertambahnya jumlah sudu yang digunakan. Pada jumlah sudu 4 buah arus yang mengalir sebesar 0,52 A atau terjadi penurunan sebesar 15%. Kemudian terjadi penurunan secara drastis pada jumlah sudu 6 buah. Besarnya arus yang mengalir sebesar 0,27 A. Pada jumlah sudu sebanyak 6 buah ini terjadi penuruanan sebesar 48%. Untuk jumlah sudu 8 buah arus yang mengalir sebesar 0,19 A yakni turun sebesar 30%. Jumlah sudu 10 buah besarnya arus yang mengalir 0,14 A dan terjadi penuruanan sebesar 26%. Selanjutnya untuk arus terendah didapatkan pada jumlah sudu sebanyak 12 buah yakni sebesar 0,13 A. Penurunan yang terjadi pada penggunaan sudu sebanyak 12 buah ini sebesar 1,5%.

3.4. Analisis Daya Listrik

Gambar 6 menampilkan hubungan daya listrik yang dihasilkan dengan variasi jumlah sudu.



Gambar 6. Hubungan daya listrik dengan variasi jumlah sudu

Grafik voltase, arus dan daya listrik yang dihasilkan memiliki *trend* yang sama, yaitu terjadi penurunan daya listrik dengan semakin bertambahnya jumlah sudu. Hal ini sesuai dengan persamaan daya listrik, di mana daya berbanding lurus dengan nilai voltase dan arus listrik yang dihasilkan. Sehingga dari hasil penelitian didapatkan bahwa daya yang dihasilkan juga menurun seiring dengan bertambahnya jumlah sudu. Daya tertinggi dicapai pada rotor dengan jumlah 3 sudu dengan nilai yang didapat sebesar 9,38 *Watt*. Sedangkan daya terendah yang dihasilkan yaitu sebesar 0,98 *Watt* dengan jumlah sudu sebanyak 12 buah. Untuk penurunan daya dengan bertambahnya jumlah sudu yang digunakan mulai dari penambahan dari jumlah 3 sudu menjadi 4 sudu yakni sebesar 1,97 *Watt* atau turun 21,06%. Terlihat penurunan secara drastis terjadi pada penambahan jumlah dari 4 sudu menjadi 6 sudu. Penurunan yang terjadi yaitu sebesar 4,62 *Watt* atau turun 62,35%. Dari jumlah sudu 6 ke 8 buah turun sebesar 1,34 *Watt* atau turun 48,4%. Untuk penambahan 8 sudu menjadi 10 sudu penurunan yang terjadi sebesar 0,46 *Watt* atau turun 32,12%. Selanjutnya terakhir dari 10 sudu menjadi 12 sudu turun sebesar 0,17 *Watt* atau 18,13%. Hal ini semua disebabkan karena pada dasarnya daya turbin merupakan daya yang diperoleh dari kecepatan aliran dan massa aliran air yang dikonversi ke putaran poros oleh sudu – sudu turbin. Masa aliran yang bertambah memperbesar momentum aliran yang menumbuk sudu – sudu turbin, sehingga gaya yang terjadi juga semakin besar dan menghasilkan torsi yang semakin meningkat ^[25].

4. KESIMPULAN

Penelitian terkait kinerja turbin air Savonius tipe *drag* dengan variasi jumlah sudu dan sistem *blocking* telah selesai dilakukan. Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan terkait kinerja turbin air dengan parameter yang digunakan sebagai tolok ukur yaitu kecepatan putar rotor, voltase listrik, arus listrik dan daya yang dihasilkan. Berdasarkan hasil analisis maka didapatkan jumlah sudu sebanyak 3 buah mampu menghasilkan kinerja turbin yang terbaik dibandingkan dengan penggunaan jumlah sudu yang lainnya. Sehingga dapat disimpulkan bahwa jumlah sudu turbin berpengaruh terhadap kinerja turbin Savonius tipe *drag*, di mana seiring bertambahnya jumlah sudu yang digunakan, maka kinerja turbin semakin menurun.

PERNYATAAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi, Riset dan Teknologi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Republik Indonesia atas dukungan dana yang diberikan. (Nomor kontrak induk: 158/E5/PG.02.00.PT/2022).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Khan, S.A.R., Yu, Z., Belhadi, A., Mardani, A., “*Investigating the effects of renewable energy on international trade and environmental quality*”, *Journal of Environmental Management*, v. 272, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.jenvman.2020.111089.
- [2] Yang, S., Park, S., “*The effects of renewable energy financial incentive policy and democratic governance on renewable energy aid effectiveness*”, *Energy Policy*, v. 145, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.enpol.2020.111682.
- [3] Hilmawan, E., et.al., *OUTLOOK ENERGI INDONESIA 2021 Perspektif Teknologi Energi Indonesia: Tenaga Surya untuk Penyediaan Energi Charging Station*, Pusat Pengkajian Industri Proses dan Energi, 2021.
- [4] Balkhair, K.S., Rahman, K.U., “*Sustainable and economical small-scale and low-head hydropower generation: A promising alternative potential solution for energy generation at local and regional scale*”, *Applied Energy*, v. 188, pp. 378–391, 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.12.012.
- [5] Erikstad, L., Hagen, D., Stange, E., Bakkestuen, V., “*Evaluating cumulative effects of small-scale hydropower development using GIS modelling and representativeness assessments*”, *Environmental Impact Assessment Review*, v. 85, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.eiar.2020.106458.
- [6] Li, J., Wang, Z., Wu, X., Ming, B., Chen, L., Chen, X., “*Evident response of future hydropower generation to climate change*” *Journal of Hydrology*, v. 590, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.jhydrol.2020.125385.
- [7] Rosmin, N., Jauhari, A.S., Mustaamal, A.H., Husin, F., Hassan, M.Y., “*Experimental study for the single-stage and double-stage two-bladed Savonius micro-sized turbine for rain water harvesting (RWH) system*”, *Energy Procedia*, v. 68, pp. 274–281, Apr. 2015, doi: 10.1016/j.egypro.2015.03.256.
- [8] Prabowoputra, D.M., Hadi, S., Prabowo, A.R., Sohn, J.M., “*Performance investigation of the savonius horizontal water turbine accounting for stage rotor design*,” *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, v. 9, n. 2, pp. 184–189, Feb. 2020, doi: 10.18178/ijmerr.9.2.184-189.
- [9] Hadi, S., Apdila, R.J., Purwono, A.H., Budiana, E.P., Tjahjana, D.D.D.P. “*Performance of the drag type of Horizontal Axis Water Turbine (HAWT) as effect of depth to width ratio of blade*,” In: *AIP Conference Proceedings*, , vol. 1788, Jan. 2017, doi: 10.1063/1.4968257.
- [10] Utomo, I.S., Tjahjana, D.D.D.P., Hadi, S., “*Experimental studies of Savonius wind turbines with variations sizes and fin numbers towards performance*”, In: *AIP Conference Proceedings*, vol. 1931, Feb. 2018, doi: 10.1063/1.5024100.
- [11] Mosbahi, M., Ayadi, A., Chouaibi, Y., Driss, Z., Tucciarelli, T., “*Experimental and numerical investigation of the leading edge sweep angle effect on the performance of a delta blades hydrokinetic turbine*”, *Renewable Energy*, v. 162, pp. 1087–1103, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.renene.2020.08.105.
- [12] Baratchi, F., Jeans, T.L., Gerber, A.G., “*Assessment of blade element actuator disk method for simulations of ducted tidal turbines*”, *Renewable Energy*, v. 154, pp. 290–304, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.renene.2020.02.098.
- [13] Hadi, S., et al., “*Performance of Savonius Horizontal Axis Water Turbine in Free Flow Vertical Pipe as Effect of Blade Overlap*”, *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences Journal homepage*, v. 58, n. 2, pp. 219–223, 2019.

- [14] Roy, S., Saha, U.K., “Wind tunnel experiments of a newly developed two-bladed Savonius-style wind turbine”, *Applied Energy*, v. 137, pp. 117–125, Jan. 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.10.022.
- [15] Anbuechhiyan, G., Mohan, B., Karthikeyan, R.V., “Development of Magnesium Matrix Syntactic Foams Processed through Powder Metallurgy Techniques”, *Applied Mechanics and Materials*, v. 766–767, pp. 281–286, Jun. 2015, doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.766-767.281.
- [16] Wenehenubun, F., Saputra, A., Sutanto, H., “An experimental study on the performance of Savonius wind turbines related with the number of blades”, *Energy Procedia*, v. 68, pp. 297–304, Apr. 2015, doi: 10.1016/j.egypro.2015.03.259.
- [17] Ramadoss, N., Pazhanivel, K., Anbuechhiyan, G., “Synthesis of B4C and BN reinforced Al7075 hybrid composites using stir casting method”, *Journal of Materials Research and Technology*, v. 9, n. 3, pp. 6297–6304, 2020, doi: 10.1016/j.jmrt.2020.03.043.
- [18] Sarma, N.K., Biswas, A., Misra, R.D., “Experimental and computational evaluation of Savonius hydrokinetic turbine for low velocity condition with comparison to Savonius wind turbine at the same input power”, *Energy Conversion and Management*, v. 83, pp. 88–98, 2014, doi: 10.1016/j.enconman.2014.03.070.
- [19] Kacprzak, K., Liskiewicz, G., Sobczak, K., “Numerical investigation of conventional and modified Savonius wind turbines”, *Renewable Energy*, v. 60, pp. 578–585, Dec. 2013, doi: 10.1016/j.renene.2013.06.009.
- [20] Ahmed, M.R., Faizal, M., Lee, Y.H., “Optimization of blade curvature and inter-rotor spacing of Savonius rotors for maximum wave energy extraction”, *Ocean Engineering*, v. 65, pp. 32–38, 2013, doi: 10.1016/j.oceaneng.2013.02.005.
- [21] Pietersz, R., Soenoko, R., Wahyudi, S., “Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Optimalisasi Kinerja Turbin Kinetik Roda Tunggal”, *Jurnal Rekayasa Mesin*, v.4, n.3, 2013.
- [22] Golecha, K., Eldho, T.I., Prabhu, S.V., “Influence of the deflector plate on the performance of modified Savonius water turbine”, *Applied Energy*, v. 88, n. 9, pp. 3207–3217, 2011, doi: 10.1016/j.apenergy.2011.03.025.
- [23] Chen, J., Yang, H.X., Liu, C.P., Lau, C.H., Lo, M., “A novel vertical axis water turbine for power generation from water pipelines”, *Energy*, v. 54, pp. 184–193, Jun. 2013, doi: 10.1016/j.energy.2013.01.064.
- [24] Andriyansyah, D., Sriyanto, Jamaldi, A., “Perancangan Dan Pembuatan Mesin 3D Printer Tipe Cantilever”, *Abdi Masya*, v. 1, n. 2, pp. 108–114, May 2021, doi: 10.52561/abma.v1i2.139.
- [25] Fitriansyah, E., Wahyudi, S., Winarto, “Pengaruh kedalaman sudu mangkok terhadap unjuk kerja turbin kinetik”, *Rekayasa Mesin*, v. 11, n. 3, pp. 323–329, 2020.