

PENGARUH JUMLAH SUDU VAWT (*VERTICAL AXIS WATER TURBINE*) TERHADAP DAYA *OUTPUT* PLTA PIKO HIDRO

Arif Hidayat Purwono^{1*}, Tota Pirdo Kasih¹

¹Professional Engineer Program, Universitas Bina Nusantara, Jakarta, Indonesia

*Email: arifhidayatpurwono@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan perangkat listrik modern yang semakin hemat energi, memberikan peluang untuk dikembangkannya pembangkit listrik berskala kecil. Indonesia yang beriklim tropis, dan memiliki curah hujan yang tinggi bisa dimanfaatkan sebagai sumber tenaga alternatif memberikan potensi dikembangkannya pembangkit listrik skala piko di masa depan. Penelitian ini akan mengembangkan turbin skala piko berjenis Turgo berdiameter 380 mm dengan memvariasikan jumlah sudu 8, 12, dan 16. Penelitian menggunakan pengujian eksperimental melalui prototipe alat uji Vertical Axis Water Turbine (VAWT) skala laboratorium dengan menggunakan debit aliran yang tetap sebesar 18 l/min. Dengan menghubungkan rotor turbin dengan generator menghasilkan putaran rotor turbin sebesar 515,3 rpm pada sudu turbin 8, mengalami kenaikan 14% bila dibanding sudu 12 dan kenaikan 17% bila dibanding dengan sudu turbin 16. Hasil putaran rotor memiliki tren yang sama dengan hasil tegangan listrik dimana tegangan listrik pada turbin 8 menghasilkan 12,4 Volt pada sudu 12 dan 16 mengalami peningkatan 9 % dan 10 %. Hasil daya output generator terbaik sebesar 13,23 Watt didapatkan dengan menggunakan sudu 12. Hasil terbaik ini dapat direkomendasikan dalam pemilihan jumlah sudu pada Turbin Turgo VAWT berskala Piko.

Kata kunci: pikohidro; turgo; *Vertical Axis Water Turbine*

ABSTRACT

The development of modern electrical devices that are increasingly energy efficient provides opportunities for the development of small-scale power plants. Indonesia, which has a tropical climate and high rainfall, can be used as an alternative energy source, providing the potential for developing pico-scale power plants in the future. This research will develop a Turgo-type pico-scale turbine with a diameter of 380 mm by varying the number of blades 8, 12, and 16. The research uses experimental testing through a laboratory scale Vertical Axis Water Turbine (VAWT) test equipment prototype using a constant flow rate of 18 l/min. Connecting the turbine rotor to the generator produces a turbine rotor rotation of 515.3 rpm on turbine blade 8, an increase of 14% compared to blade 12 and an increase of 17% compared to turbine blade 16. The rotor rotation results show the same trend as the electric voltage results. where the electrical voltage on turbine 8 produces 12.4 Volts on blades 12 and 16, experiencing an increase of 9% and 10%. The best generator output power result of 13.23 Watts was obtained using 12 blades. This best result can be recommended in selecting the number of blades for the Piko scale Turgo VAWT Turbine.

Keywords: pico hydro; turgo; *Vertical Axis Water Turbine*

1. PENDAHULUAN

Energi listrik memiliki peranan penting dalam pembangunan suatu negara, dimana banyak sektor membutuhkan energi listrik dalam pengembangannya. Kebutuhan energi listrik sendiri semakin bertambah seiring dengan berkembang zaman. Permintaan akan listrik di Indonesia selalu meningkat tiap tahunnya bahkan naik hingga 9 kali lipat dari tahun 2018 [1], [2], [3]. Produksi listrik saat ini masih didominasi oleh pembangkit

berbahan bakar fosil seperti batu bara, dimana nantinya sumber tersebut akan semakin berkurang serta memiliki emisi yang tinggi. Dalam upaya untuk menjaga ketahanan dan kemandirian energi, peran Renewable Energy perlu ditingkatkan secara terus menerus. Salah satu potensi renewable energy adalah Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dimana Indonesia diperkirakan memiliki potensi pengembangan hingga mencapai 94,3 GW. Namun demikian hingga saat ini pemanfaatannya baru mencapai 17,1 % dari potensi yang ada [1], [4], [5], [6].

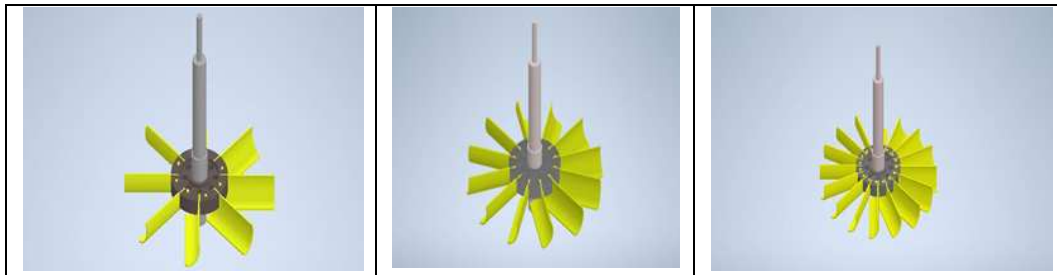
Pembangkit listrik tenaga air memiliki beberapa stage dalam menghasilkan daya listrik yang bergantung pada kapasitas produksi listrik, seperti PLTA mikrohidro dan PLTA pikohidro. Perkembangan perangkat listrik modern yang semakin hemat energi, memberikan peluang untuk dikembangkan PLTA berskala kecil dan sangat berpotensi untuk di implementasikan pada area remote atau area pedesaan. Sistem Pikohidro memanfaatkan energi aliran air yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik dengan kapasitas lebih kecil dari 5 kW yang terdiri dari komponen utama reservoir, penstoke, turbin air, generator listrik, dan instalasi perpipaan. Instalasi yang sederhana ini sangat cocok untuk mensuplai kebutuhan listrik masyarakat kecil dimana aksesnya terbatas [4], [7], [8].

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mencari energi alternatif dalam rangka mengembangkan pembangkit listrik skala piko, seperti studi perbandingan 13 macam turbin dengan metode kuantitatif dan kualitatif untuk kapasitas head (ketinggian sumber air) yang rendah dengan kondisi variasi aliran yang menyimpulkan bahwa jenis VAWT dengan menggunakan *single nozzle* dan rotor turbin turgo menghasilkan performa terbaik [9], [10], [11]. Turbin Turgo adalah merupakan salah satu jenis turbin impuls dimana rotor turbin digerakkan oleh sebuah atau beberapa pancaran air (*water jet*) berkecepatan tinggi. Turbin turgo memiliki efisiensi mekanis 8% lebih tinggi dan biaya pembuatan 17 kali lebih rendah dibandingkan turbin pelton [12], [13], [14].

Berdasarkan uraian tersebut diatas, sebuah peluang untuk mengembangkan pembangkit listrik tenaga air skala piko VAWT berjenis turbin Turgo dengan menggunakan *single nozzle* pada kapasitas head yang rendah. Dengan memvariasikan jumlah sudu pada rotor turbin Turgo diharapkan menghasilkan rekomendasi jumlah sudu yang menghasilkan performa terbaik. Sistem generator dan sistem baterai disesuaikan dengan performa turbin [15], sehingga diharapkan menghasilkan prototipe sistem turbin pikohidro.

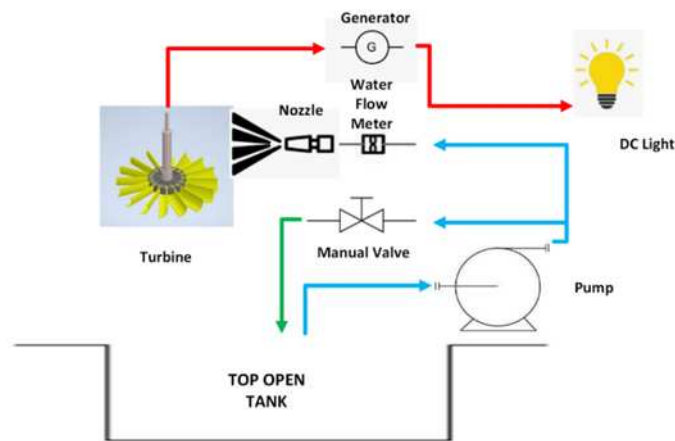
2. METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental, dimana peneliti menggunakan rotor turbin jenis Turgo dengan memvariasikan jumlah sudu pada turbin yang digunakan. Rotor turbin turgo memiliki diameter keseluruhan 380 mm dengan jumlah sudu divariasikan sebesar 8 sudu, 12 sudu dan 16 sudu serta ketebalan dari *blade* sudu adalah 1,2 mm. Hal ini disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Variasi jumlah sudu turbin

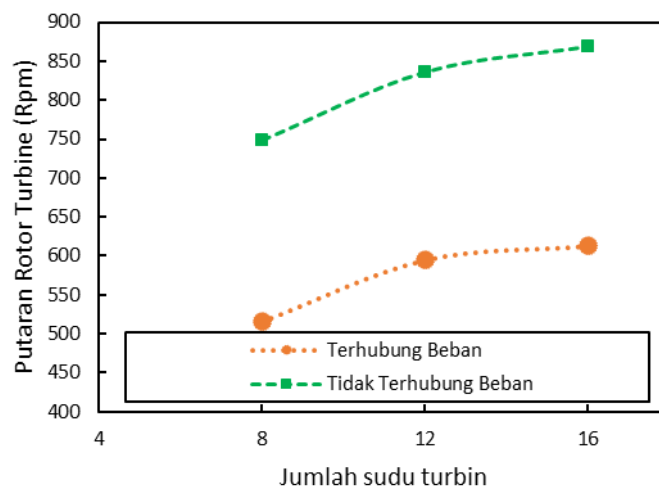
Tahap pertama adalah memasang turbin turgo yang akan diuji ke rumah turbin, kemudian menghubungkan *pulley* pada poros turbin dengan pulley pada poros generator dengan *belt* karet. Menghidupkan pompa air sehingga air dari bak penampungan air (*top open tank*) dihisap oleh pompa kemudian dialirkan ke seluruh sistem hingga ke *nozzle* dengan debit aliran air 18 liter per menit. Semburan air yang keluar dari *nozzle* dengan diameter 5 mm akan memutar turbin kemudian akan ditransmisikan ke generator. Tahap kedua adalah mengaktifkan beban DC pada *trainer* beban DC sebesar 10 Watt. Tahap Ketiga adalah pencatatan hasil, dimana akan di catat tegangan listrik, arus listrik, putaran turbin, putaran generator, dan waktu terhadap volume pada meteran air. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema alat uji

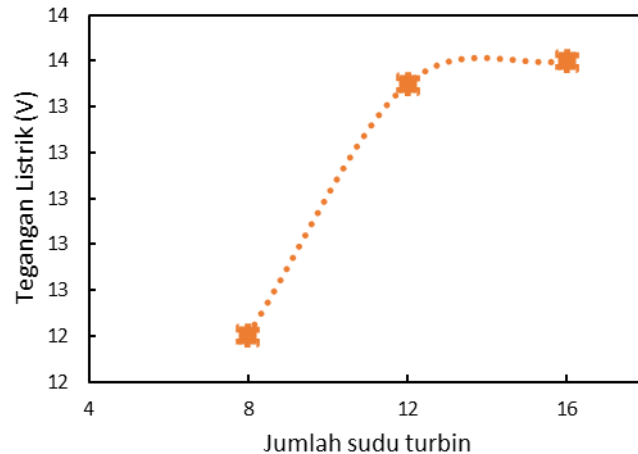
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Grafik hubungan putaran rotor turbin dengan variasi jumlah sudu ditampilkan pada Gambar 3, dimana dapat diketahui bahwa semakin banyak jumlah sudu yang digunakan maka putaran rotor semakin meningkat. Peningkatan putaran ini disebabkan dengan bertambahnya jumlah sudu yang digunakan akan memperbesar serapan energi kinetik aliran air dari *nozzle*.



Gambar 3. Grafik hasil putaran rotor turbin

Dari hasil pengujian memperlihatkan tren grafik putaran rotor turbin yang meningkat seiring bertambahnya jumlah sudu turbin. Ketika sudu turbin dihubungkan dengan generator, putaran turbin akan mengalami penurunan rata-rata sebesar 42%. Dengan bertambahnya jumlah sudu dari 8 sudu ke 12 sudu terjadi peningkatan putaran rotor turbin sebesar 14%, sedangkan penambahan dari 12 sudu ke 16 sudu terjadi peningkatan 3%.



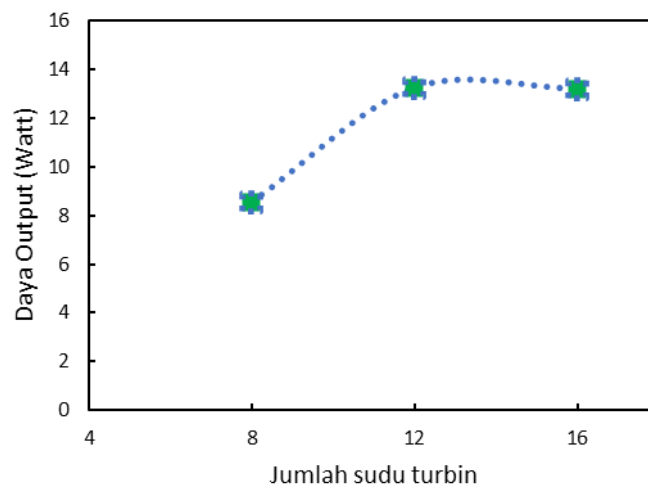
Gambar 4. Grafik hasil tegangan listrik

Gambar 4 merupakan grafik tegangan listrik yang dihasilkan dari pengujian turbin dengan menggunakan satu *nozzle* dengan debit aliran sebesar 0,0018 m³/menit. Grafik hasil pengujian turbin memperlihatkan tren grafik yang meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah sudu turbin. Tegangan listrik maksimal diperoleh pada variasi jumlah sudu 16 sebesar 13,6 Volt, sedangkan variasi jumlah sudu 12 menghasilkan tegangan listrik yang tidak berbeda jauh sebesar 13,5 Volt, tegangan listrik minimal dihasilkan pada variasi jumlah sudu 8 sebesar 12,4 Volt. Secara teoritis besarnya tegangan listrik yang dihasilkan oleh generator akan berbanding lurus dengan kecepatan putar poros, dimana semakin tinggi putaran poros rotor turbin maka semakin besar tegangan listrik yang dihasilkan generator, sehingga grafik tegangan listrik yang dihasilkan memiliki kemiripan dengan tren grafik putaran rotor turbin. Ketika penggunaan variasi jumlah sudu 12 terjadi peningkatan tegangan listrik sebesar 9% dibanding menggunakan variasi jumlah sudu 8, sedangkan penambahan jumlah sudu menjadi 16 sudu meningkatkan tegangan listrik hanya 0,7%. Bertambahnya jumlah sudu yang digunakan pada rotor turbin maka celah antar sudu juga semakin sempit, sehingga mengakibatkan penurunan tekanan pada tiap bilah sudu. Penurunan tekanan pada permukaan sudu ini disebabkan oleh penurunan luasan kontak antara permukaan sudu dengan aliran air dari *nozzle*. Rotor turbin dengan jumlah sudu 12 dan 16 mampu menghasilkan tegangan listrik yang memenuhi kriteria sistem pengisian baterai berkapasitas 12 Volt.

Gambar 5 menunjukkan grafik daya listrik yang dihasilkan oleh turbin jenis Turgo terhadap variasi jumlah sudu pada turbinnya. Terlihat grafik memiliki tren yang meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah sudu turbin yang digunakan. Daya listrik maksimum generator pada turbin dengan jumlah sudu turbin 12 sebesar 13,23 Watt dan daya listrik minimum sebesar 8,56 Watt diperoleh menggunakan variasi jumlah sudu 8, sedangkan penggunaan variasi jumlah sudu 16 menghasilkan daya generator sebesar 13,19 Watt.

Dengan melakukan penambahan jumlah sudu pada turbin maka bobot dari turbin juga semakin meningkat. Dari pengukuran menggunakan timbangan diperoleh data bahwa rotor turbin dengan jumlah sudu 8 memiliki bobot sebesar 1030 gram, jumlah sudu 12 sebesar 1200 gram dan rotor dengan jumlah sudu 16 memiliki bobot sebesar 1325 gram.

Perubahan variasi jumlah sudu rata rata meningkatkan bobot turbin sebesar 13%. Peningkatan bobot tersebut yang menyebabkan turunnya daya *output* dari generator pada jumlah sudu tertentu. Penggunaan jumlah sudu 16 menurunkan daya turbin sebesar 3% dibandingkan dengan penggunaan sudu 12, hal ini terjadi karena bobot turbin yang terlalu berat akan mengurangi kestabilan putaran generator menghasilkan arus listrik. Takagi (2014) melakukan penelitian dengan mengganti material rotor turbin yang awalnya dari material logam diubah dengan menggunakan material yang lebih ringan berbahan plastik dengan dimensi yang sama melalui mesin 3D *printing*, dari hasil penelitian diperoleh kenaikan kinerja torsi yang lebih baik dibandingkan menggunakan material logam serta adanya kenaikan daya listrik yang dihasilkan



Gambar 5. Grafik hasil daya output generator

4. KESIMPULAN

Pembuatan prototipe pikohidro VAWT skala laboratorium telah berhasil dilakukan. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan dan analisis, dapat disimpulkan bahwa Peningkatan putaran rotor turbin sebesar 14% ketika menggunakan jumlah sudu 12 bila dibanding menggunakan sudu 8, dan dari pengujian sudu 12 ke sudu 16 hanya terjadi peningkatan sebesar 3%.

Penggunaan rotor Turbin dengan sudu 8 menghasilkan tegangan listrik 12,4 Volt, dengan penggunaan jumlah sudu 12 terjadi peningkatan sebesar 9 % dan peningkatan 10 % pada penggunaan rotor bersudu 16.

Bertambahnya jumlah sudu pada rotor turbin akan meningkatkan bobot dari turbin, sehingga daya generator pada sudu 16 terjadi penurunan sebesar 3 % dibanding dengan penggunaan jumlah sudu 12.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suharyati, S. H. Pambudi, J. L. Wibowo, and N. I. Pratiwi, *Outlook Energi Indonesia 2019*. Jakarta: Dewan Energi Nasional, 2019.
- [2] L. Adam, "Dinamika Sektor Kelistrikan di Indonesia : Kebutuhan dan Performa Penyediaan," *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan*, vol. 24, no. 1, pp. 29–41, 2016.
- [3] A. Cahyono Adi and Farida Lasnawatin, *Handbook Of Energy And Economic Statistics Of Indonesia 2022*. 2022.

- [4] S. Thyer and T. White, "Energy recovery in a commercial building using pico-hydropower turbines: An Australian case study," *Heliyon*, vol. 9, no. 6, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e16709.
- [5] Y. Guan, S. Post, D. Zhao, S. Zhang, and S. Becker, "Overview of the Application Status and Development Trends of Hydropower and Geothermal Power in New Zealand," *Energy and Built Environment*, 2024, doi: 10.1016/j.enbenv.2024.06.003.
- [6] A. Purwaningsih, T. Hardjana, E. Hermawan, D. Fatria Andarini, P. Sains dan Teknologi Atmosfer, and L. Penerbangan dan Antariksa Nasional Jl Djunjunan No, "Precipitation and Extreme Precipitation Condition during Strong and Weak MJO: Spatial and Temporal Distribution in Indonesia," 2020. [Online]. Available: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data>.
- [7] A. Kadier, M. S. Kalil, M. Pudukudy, H. A. Hasan, A. Mohamed, and A. A. Hamid, "Pico hydropower (PHP) development in Malaysia: Potential, present status, barriers and future perspectives," Jan. 01, 2018, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.rser.2017.06.084.
- [8] E. Gallego, A. Rubio-Clemente, J. Pineda, L. Velásquez, and E. Chica, "Experimental analysis on the performance of a pico-hydro Turgo turbine," *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, vol. 33, no. 4, pp. 266–275, May 2021, doi: 10.1016/j.jksues.2020.04.011.
- [9] S. J. Williamson, B. H. Stark, and J. D. Booker, "Low head pico hydro turbine selection using a multi-criteria analysis," *Renew Energy*, vol. 61, pp. 43–50, Jan. 2014, doi: 10.1016/j.renene.2012.06.020.
- [10] R. K. Chaulagain, L. Poudel, and S. Maharjan, "A review on non-conventional hydropower turbines and their selection for ultra-low-head applications," Jul. 01, 2023, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e17753.
- [11] Á. M. Rodríguez-Pérez, I. Pulido-Calvo, and P. Cáceres-Ramos, "A computer program to support the selection of turbines to recover unused energy at hydraulic networks," *Water (Switzerland)*, vol. 13, no. 4, Feb. 2021, doi: 10.3390/w13040467.
- [12] Budiarso, Warjito, M. Naufal Lubis, and D. Adanta, "Performance of a low cost spoon-based turgo turbine for pico hydro installation," in *Energy Procedia*, Elsevier Ltd, 2019, pp. 447–451. doi: 10.1016/j.egypro.2018.11.087.
- [13] Budiarso, D. Febriansyah, Warjito, and D. Adanta, "The effect of wheel and nozzle diameter ratio on the performance of a Turgo turbine with pico scale," in *Energy Reports*, Elsevier Ltd, Feb. 2020, pp. 601–605. doi: 10.1016/j.egyr.2019.11.125.
- [14] J. Butchers *et al.*, "Cost estimation of micro-hydropower equipment in Nepal," *Dev Eng*, vol. 7, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.deveng.2022.100097.
- [15] C. Y. Hsu *et al.*, "Rechargeable batteries for energy storage: A review," *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, vol. 8, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.prime.2024.100510.