

PENGUJIAN EKSPERIMENTAL TURBIN ARCHIMEDES SCREW MENGGUNAKAN PENGARAH ALIRAN UNTUK APLIKASI ENERGI AIR

Carolus Borromeus Krishna Sampurno¹, Siska Irma Budianti², Oktavian Hermanto³

^{1,2,3}Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Perwira Purbalingga, Jl. Letjend. S. Parman No. 53, Purbalingga, Jawa Tengah, 53317

*E-mail: siskabudi690@gamil.com

ABSTRAK

Turbin air tipe ulir atau Archimedes Screw Turbine (AST) merupakan salah satu teknologi pembangkit listrik tenaga air skala kecil yang efisien untuk daerah dengan ketinggian jatuh air rendah dan debit aliran yang besar. Turbin ini bekerja berdasarkan prinsip ulir Archimedes, di mana aliran air dimanfaatkan untuk menghasilkan torsi pada poros yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik. Keunggulan utama turbin ini terletak pada kemampuannya beroperasi pada head rendah, konstruksi yang sederhana, serta ramah terhadap lingkungan dan biota air. Namun, efisiensi turbin sangat dipengaruhi oleh kondisi aliran masuk, terutama pada bagian inlet. Ketidakakteraturan arah dan kecepatan aliran dapat menurunkan tekanan serta mengurangi efektivitas konversi energi. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penggunaan pengarah aliran terhadap kinerja turbin Archimedes screw dengan rasio pitch tertentu pada debit air konstan. Metode penelitian dilakukan secara eksperimental di lapangan dengan membandingkan performa turbin pada kondisi tanpa pengarah dan dengan pengarah aliran. Hasil menunjukkan bahwa penggunaan pengarah aliran meningkatkan daya keluaran dan kecepatan putaran turbin secara signifikan. Peningkatan tersebut terjadi karena aliran air menjadi lebih stabil dan fokus, sehingga tekanan dan torsi pada sudu meningkat. Secara keseluruhan, sistem pengarah aliran terbukti efektif dalam mengoptimalkan interaksi fluida dengan ulir turbin serta meningkatkan efisiensi konversi energi. Penerapannya direkomendasikan untuk pembangkit listrik tenaga air skala mikro di wilayah dengan head rendah sebagai solusi energi terbarukan yang berkelanjutan.

Kata kunci: Archimedes screw turbine, pengarah aliran, efisiensi turbin, mikrohidro

1. PENDAHULUAN

Energi air merupakan salah satu bentuk energi terbarukan yang efisien, ekonomis, serta ramah lingkungan karena tidak menimbulkan polusi. Energi ini dapat dimanfaatkan dan dikonversi menjadi energi listrik melalui sistem pembangkit listrik tenaga air. Proses konversi tersebut tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca sebagaimana yang terjadi pada pembangkit listrik berbasis bahan bakar fosil. Berbeda dengan sumber energi terbarukan lainnya, energi air memiliki karakteristik yang berkelanjutan karena keberadaannya terus diperbarui oleh siklus hidrologi alami bumi. Dengan demikian, pembangkit listrik tenaga air menjadi salah satu teknologi penting dalam upaya penyediaan energi bersih dan berkelanjutan.

Turbin air tipe ulir atau Archimedes Screw Turbine (AST) merupakan salah satu jenis

turbin reaksi yang berpotensi besar digunakan sebagai pembangkit listrik skala kecil, terutama pada daerah dengan kondisi head rendah dan debit aliran yang besar [1]. Turbin ini memiliki sudu berbentuk heliks yang mengelilingi poros dan bekerja berdasarkan prinsip ulir Archimedes, di mana perbedaan tinggi muka air dimanfaatkan untuk menghasilkan torsi pada poros ulir. Dengan karakteristik putaran rendah (low head, high flow rate), turbin ini banyak diterapkan pada saluran irigasi, bendung, dan sungai-sungai di Indonesia yang umumnya memiliki kontur landai [2]. Keunggulan utama turbin screw meliputi kemampuannya bekerja pada debit besar dengan kecepatan putar rendah, konstruksi yang sederhana, perawatan yang mudah, serta sifatnya yang ramah terhadap biota air [3] [4]. Selain itu, penerapan turbin tipe ini dapat menjadi solusi penyediaan energi listrik berkelanjutan di daerah terpencil yang sulit

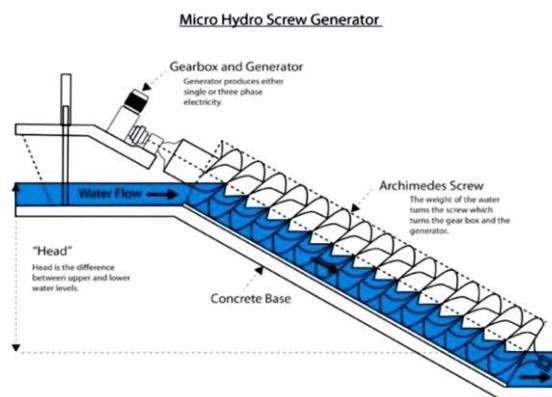
dijangkau jaringan listrik utama, meskipun efisiensinya sangat dipengaruhi oleh kondisi aliran masuk, bentuk ulir, dan sistem pengarah aliran yang digunakan [5].

Salah satu tantangan utama dalam pengoperasian turbin screw adalah ketidakteraturan aliran masuk yang menyebabkan distribusi tekanan dan kecepatan air pada ulir menjadi tidak merata. Kondisi ini dapat mengurangi efisiensi konversi energi dan mempercepat keausan pada komponen turbin. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan sistem pengarah aliran (flow guide vanes) yang mampu mengarahkan air masuk ke turbin dengan sudut dan kecepatan yang optimal. Desain pengarah aliran yang tepat dapat meningkatkan stabilitas aliran, memperbesar gaya tangensial pada ulir, dan pada akhirnya meningkatkan daya keluaran turbin.

Berbagai penelitian terdahulu telah membahas pengaruh pitch dan sudut kemiringan poros terhadap kinerja turbin screw [5]–[8]. Namun, masih sedikit penelitian yang berfokus pada optimasi sistem pengarah aliran sebagai variabel utama yang memengaruhi efisiensi turbin. Sudut pengarah aliran turbin dapat memberikan perbedaan terhadap pola aliran dan torsi yang dihasilkan, dimana dengan adanya Sudut pengarah aliran tidak selamanya selinier dengan kenaikan putaran turbin [9]. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini akan menguji penggunaan pengarah aliran terhadap kinerja prototipe turbin air screw Archimedes.

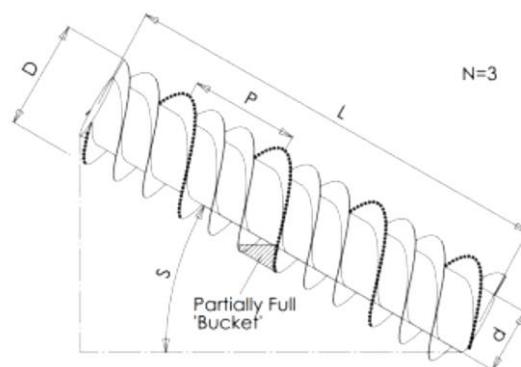
2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penulisan ini adalah metode eksperimental. Penelitian dilakukan pada aliran air yang berpotensi untuk menggerakkan turbin. Pengujian unjuk kerja turbin dilakukan pada aliran air terbuka di dekat pemukiman penduduk yang terletak di Desa Dagan, Kecamatan Bobotsari, Kabupaten Purbalingga. Penelitian dilakukan secara alamiah berdasarkan aliran air yang terjadi di lapangan. Pengukuran debit aliran dilakukan tiga kali agar diketahui rata-rata debit yang nominalnya digunakan sebagai justifikasi debit aliran yang terjadi.



Gambar 1. Prinsip kerja Archimedes Screw [10]

Prinsip kerja turbin archimedes screw adalah air mengalir masuk ke dalam tabung ulir. Perbedaan ketinggian yang terjadi antara upstream dan downstream akan menimbulkan gaya tekan yang mendorong dinding ulir untuk menghasilkan putaran rotor. Putaran rotor ditransmisikan menggunakan pully yang kemudian digunakan untuk mengukur torsi yang dihasilkan dengan metode rope brake. Putaran poros turbin diukur menggunakan tachometer.



Gambar 2. Turbin Archimedes Screw [11]

Daya teoritis turbin dihitung menggunakan persamaan berikut ini :

$$P = \rho h g Q \quad (1)$$

Dimana :

P : Daya teoritis turbin (watt)

h : head (m)

g : gravitasi (m/s^2)

Q : debit aliran m^3/s)

Untuk menghitung debit aliran digunakan persamaan berikut :

$$Q = A v \quad (2)$$

Dimana :

Q : debit aliran m³/s)

A : luas bidang aliran (m²)

v : kecepatan aliran air (m/s)

3. TINJAUAN PUSTAKA

Turbin Archimedes Screw (AST) merupakan salah satu jenis turbin reaksi yang bekerja berdasarkan prinsip ulir Archimedes, di mana aliran air digunakan untuk menghasilkan gaya dorong pada sudu berbentuk heliks sehingga menghasilkan putaran mekanik. Teknologi ini banyak diaplikasikan pada pembangkit listrik tenaga air skala kecil karena kemampuan operasionalnya pada kondisi head rendah dan debit besar. AST merupakan solusi teknologi energi terbarukan yang berkelanjutan dengan efisiensi tinggi pada sistem mikrohidro, serta memiliki dampak minimal terhadap lingkungan dan biota air. Hal ini menjadikan turbin screw sebagai pilihan ideal untuk daerah pedesaan yang memiliki karakteristik sungai berkontur landai.

Dari sisi prinsip kerja, teori dasar mengenai ulir Archimedes telah dijelaskan oleh Müller dan Senior (2009), yang menyederhanakan hubungan antara bentuk geometri ulir, kecepatan aliran, dan torsi yang dihasilkan. Kinerja turbin sangat dipengaruhi oleh geometri ulir, termasuk diameter, pitch, sudut kemiringan, dan panjang ulir. Desain ulir yang optimal dapat meningkatkan besar gaya tangensial yang bekerja pada permukaan sudu sehingga efisiensi konversi energi meningkat.

Selain geometri, aspek hidrodinamika aliran turut berperan penting dalam menentukan performa turbin. Melalui pemodelan CFD, menunjukkan bahwa distribusi tekanan dan pola aliran di area inlet sangat menentukan besarnya torsi dan putaran rotor. Ketidakteraturan aliran dapat menyebabkan turbulensi yang meningkatkan kehilangan energi dan mengurangi stabilitas putaran. Oleh karena itu, pengendalian aliran masuk menjadi faktor kunci dalam meningkatkan efisiensi turbin.

Studi mengenai penggunaan pengarah aliran (flow guide) telah menunjukkan dampak positif terhadap peningkatan performa turbin. Investigasi eksperimental terhadap turbin screw dengan dan tanpa deflektor, dan hasilnya

menunjukkan adanya peningkatan kecepatan putar ketika air diarahkan terlebih dahulu sebelum memasuki ulir. Komponen pengarah berfungsi mengatur sudut masuk fluida serta mengurangi turbulensi di area inlet, sehingga tekanan fluida pada sudu meningkat. Dengan aliran yang lebih stabil dan terarah, energi kinetik air dapat dikonversi lebih efektif menjadi energi mekanik.

Penelitian mengenai pengaruh geometri dan sudut kemiringan terhadap kinerja turbin screw juga telah dilakukan yang menyimpulkan bahwa kombinasi pitch dan sudut poros yang tepat dapat memaksimalkan gaya tekan fluida pada ulir. Sementara itu, Sudut pengarah aliran memiliki hubungan langsung terhadap stabilitas dan kecepatan putaran turbin kinetik, meskipun peningkatannya tidak selalu bersifat linier. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan sudut dan posisi pengarah harus disesuaikan dengan karakteristik aliran untuk mencapai titik efisiensi optimum.

Penelitian parametris juga menegaskan bahwa efisiensi turbin screw sangat bergantung pada arah aliran masuk. Ketidaktepatan aliran yang masuk ke ulir dapat menyebabkan terjadinya pembentukan vorteks yang meningkatkan kehilangan energi. Oleh karena itu, komponen pengarah aliran berperan penting dalam meminimalkan fenomena tersebut.

Berdasarkan kajian literatur tersebut, dapat disimpulkan bahwa penggunaan pengarah aliran merupakan strategi yang potensial untuk meningkatkan efisiensi turbin Archimedes Screw. Meskipun sejumlah penelitian terdahulu telah membahas aspek geometri dan karakteristik aliran, studi yang secara spesifik menginvestigasi pengaruh sistem pengarah aliran pada turbin screw masih relatif terbatas. Dengan demikian, penelitian ini menjadi penting untuk memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai kontribusi pengarah aliran terhadap performa turbin, terutama pada aplikasi di lapangan dengan kondisi aliran terbuka dan head rendah.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian prototipe Turbin Air Screw Archimedes dengan pitch rasio 0,8 telah dilakukan pada aliran air yang terletak di Desa

Dagan, Kecamatan Bobotsari, Kabupaten Purbalingga. Berdasarkan hasil pengukuran debit air didapat debit alir pada penelitian ini adalah sebesar 1,29 m³/detik.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengarah aliran pada turbin screw Archimedes memberikan pengaruh terhadap daya yang dihasilkan.

Tabel 1. Data hasil pengujian

Daya		Putaran	
Tanpa Pengarah	Menggunakan Pengarah	Tanpa Pengarah	Menggunakan Pengarah
0,0208	0,0377	200,9	231,4
0,0246	0,0446	142,9	180,0
0,0385	0,0620	111,6	159,2
0,0367	0,0622	88,7	112,8

Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 1, terlihat bahwa penggunaan pengarah aliran memberikan pengaruh nyata terhadap performa turbin Archimedes screw. Turbin yang dilengkapi dengan pengarah aliran menunjukkan peningkatan pada nilai daya keluaran maupun kecepatan putaran dibandingkan dengan kondisi tanpa pengarah. Fenomena ini menunjukkan bahwa sistem pengarah aliran mampu mengoptimalkan interaksi antara fluida dan permukaan ulir turbin, sehingga konversi energi kinetik air menjadi energi mekanik dapat berlangsung lebih efisien.

Secara hidrodinamik, peningkatan performa tersebut disebabkan oleh karakteristik aliran air di sekitar inlet turbin yang menjadi lebih teratur dan fokus ketika melewati pengarah. Komponen pengarah berfungsi menangkap serta mengarahkan aliran air masuk dengan sudut dan kecepatan yang sesuai, sehingga tekanan fluida yang masuk ke dalam ulir meningkat. Tekanan yang lebih besar ini menyebabkan gaya dorong pada sudu turbin bertambah, dan pada akhirnya menghasilkan torsi serta kecepatan putar yang lebih tinggi [3][12]. Selain itu, distribusi tekanan yang merata di sepanjang ulir membantu mengurangi kehilangan energi akibat turbulensi di daerah masuk turbin.

Kondisi aliran yang lebih stabil dan terarah ini tidak hanya meningkatkan daya keluaran turbin, tetapi juga berpotensi memperpanjang umur operasional komponen mekanik. Dengan berkurangnya fluktuasi tekanan dan ketidakteraturan aliran, gaya yang bekerja pada poros dan sudu menjadi lebih seimbang, sehingga keausan dapat diminimalkan. Hasil ini menegaskan bahwa penggunaan pengarah aliran merupakan strategi yang efektif untuk meningkatkan efisiensi kerja turbin Archimedes screw, terutama pada sistem pembangkit listrik tenaga air skala kecil dengan aliran terbuka dan head rendah.



Gambar 1. Pengujian turbin di lapangan

5. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penggunaan pengarah aliran terhadap kinerja turbin air tipe ulir (Archimedes Screw Turbine) dengan rasio pitch 0,8 pada kondisi debit konstan sebesar 1,29 m³/detik. Melalui pengujian eksperimental di aliran terbuka Desa Dagan, Purbalingga, diperoleh bahwa penggunaan pengarah aliran meningkatkan daya dan putaran turbin secara signifikan. Daya maksimum naik dari 0,0367 W menjadi 0,0622 W, sedangkan putaran meningkat dari 200,9 rpm menjadi 231,4 rpm. Peningkatan ini terjadi karena pengarah aliran mampu menstabilkan dan mengarahkan air ke dalam ulir turbin sehingga tekanan dan torsi meningkat. Dengan demikian, sistem pengarah aliran terbukti efektif meningkatkan efisiensi kinerja turbin Archimedes screw untuk aplikasi pembangkit

listrik tenaga air skala kecil di wilayah head rendah.

6. DAFTAR PUSTAKA

- A. YoosefDoost and W. D. Lubitz, “Archimedes Screw Turbines: A Sustainable Development Solution for Green and Renewable Energy Generation—A Review of Potential and Design Procedures,” *Sustainability*, vol. 12, no. 18, 2020.
- G. Müller and J. Senior, “Simplified theory of Archimedean screws,” *J. Hydraul. Res.*, vol. 47, no. 5, pp. 666–669, 2009.
- G. Dellinger *et al.*, “Computational fluid dynamics modeling for the design of Archimedes Screw Generator,” *Renew. Energy*, vol. 118, pp. 847–857, 2018.
- P. Gogoi, M. Handique, S. Purkayastha, and K. Newar, “Potential of archimedes screw turbine in rural india electrification: a review,” *ADBU J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 30–35, 2018.
- Y. Setiawan, E. S. Wijianti, B. S. Wibowo, S. Saparin, and P. Prayitnoadi, “Experimental investigation of Archimedes Screw Hydro Turbine rotation with and without deflector,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 926, no. 1, p. 12013, Nov. 2021.
- A. D. Nugroho and D. A. Himawanto, “Kajian teoritik pengaruh geometri dan sudut kemiringan terhadap kinerja turbin archimedes screw,” in *Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Kedirgantaraan (SENATIK)*, 2017, vol. 3, pp. 2337–3881.
- C. Rorres, “The turn of the screw: Optimal design of an Archimedes screw,” *J. Hydraul. Eng.*, vol. 126, no. 1, pp. 72–80, 2000.
- W. Budiarso, D. Adanta, and M. H. G. Syafei, “Development of Archimedes turbine research: Review paper,” *Proceeding Semin. Nas. Tah. Tek. Mesin XVI (SNTTM XVI)*, pp. 177–181, 2017.
- K. A. Lempoy, N. C. V Monintja, and A. A. M. Lakat, “PENGARUH SUDUT PENGARAH ALIRAN TERHADAP UNJUK KERJA TURBIN KINETIK,” *J. Tekno Mesin*, vol. 6, no. 1, 2020.
- C. Z. Rosly, U. K. Jamaludin, N. S. Azahari, M. A. N. Mu’tasim, A. N. Oumer, and N. T. Rao, “Parametric study on efficiency of archimedes screw turbine,” *ARPEN J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 11, no. 18, pp. 10904–10908, 2016.
- M. Lyons and W. D. Lubitz, “Archimedes screws for microhydro power generation,” in *Energy Sustainability*, 2013.
- C. B. K. Sampurno, D. D. Dwi Prija Tjahjana, and S. Hadi, “The use of phase shift angle (PSA) on double stage savonius wind rotor with three points configuration semi-elliptical blade shape,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 345, no. 1, 2019.