

## KAJI EKSPERIMENTAL KINERJA TURBIN ULIR ARCHIMEDES BERDASARKAN SUDUT KEMIRINGAN POROS TURBIN

Septian Dwi Jayanto<sup>1)</sup>, Rustan Hatib<sup>2)</sup>, Muchsin<sup>3)</sup>

Jurusan Teknik Mesin Universitas Tadulako<sup>1,2,3</sup>

e-mail : septian015@gmail.com

### ABSTRACT

This study aims to evaluate the effect of variations in the shaft inclination angle, namely 22°, 24°, 26°, 28°, and 30° on the performance of the Archimedes screw turbine with the experimental method carried out using a half-scale turbine model with a constant discharge of 0.0014 m³/s and an increase in torque (1-4 Nm). The parameters analyzed include rotational speed (RPM), output power, and efficiency at each torque level (1-4 Nm). The results show that the maximum efficiency of 61.81% is achieved at an angle of 22° with a torque of 3 Nm. Although the 30° angle produces higher output power, its efficiency is lower due to the larger head value (0.58 m compared to 0.435 m at 22°), which increases input power but is not offset by a comparable increase in output. In addition, at steeper angles, there is an increase in leakage and overflow due to less-than-optimal screw filling. This study concludes that the combination of 22° angle and 3 Nm torque is the most efficient configuration for a small-scale screw turbine system. This study can serve as a reference for designing a micro-hydro power generation system based on a screw turbine.

Keywords : Archimedes Screw Turbine, Incline Angle, Shaft Position.

### INTISARI

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi sudut kemiringan poros, yaitu 22°, 24°, 26°, 28°, dan 30° terhadap kinerja turbin ulir Archimedes dengan metode eksperimen yang dilakukan menggunakan model turbin setengah skala dengan debit konstan 0,0014 m³/s dan peningkatan torsi (1-4 Nm). Parameter yang dianalisis meliputi kecepatan putar (RPM), daya keluaran, dan efisiensi pada setiap tingkat torsi (1–4 Nm). Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi maksimum sebesar 61,81% dicapai pada sudut 22° dengan torsi 3 Nm. Meskipun sudut 30° menghasilkan daya keluaran yang lebih tinggi, efisiensinya lebih rendah karena nilai head yang lebih besar (0,58 m dibandingkan dengan 0,435 m pada 22°), yang meningkatkan daya masukan tetapi tidak diimbangi dengan peningkatan keluaran yang sebanding. Selain itu, pada sudut yang lebih curam, terjadi peningkatan kebocoran dan luapan akibat pengisian ulir yang kurang optimal. Studi ini menyimpulkan bahwa kombinasi sudut 22° dan torsi 3 Nm merupakan konfigurasi paling efisien untuk sistem turbin ulir skala kecil. Studi ini dapat menjadi referensi untuk merancang sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro berbasis turbin ulir.

Kata kunci : Turbin Ulir Archimedes, Sudut Kemiringan, Posisi Poros

### I. PENDAHULUAN

Turbin ulir Archimedes (*Archimedes Screw Turbine/AST*) adalah salah satu jenis turbin air yang mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis melalui prinsip kerja ulir Archimedes. Berbeda dengan turbin konvensional, AST dirancang untuk memanfaatkan aliran air dengan head rendah (0,1–10 meter) dan debit yang rendah. Sehingga AST ideal digunakan untuk lokasi dengan topografi datar atau aliran sungai yang

lambat. Keunggulan utama AST karena desain yang mudah diterapkan, biaya perawatan rendah, serta kemampuan turbin untuk beroperasi secara efisien meskipun terdapat kotoran atau sedimen dalam aliran air. Selain itu, AST dikenal ramah lingkungan karena tidak membahayakan mahluk hidup yang berada diair, sehingga sering disebut sebagai "fish-friendly turbine".

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja turbin ulir Archimedes meliputi:

Geometri ulir [1], Jumlah Sudu, Aliran dan head aliran serta Kemiringan poros. Salah satu parameter desain paling krusial dalam AST adalah sudut kemiringan poros (*shaft inclination angle*), karena secara langsung dapat memengaruhi perilaku aliran air di dalam turbin dan efisiensi pengkonversian energi pada turbin. Pada penelitian terbaru pada pengaruh variasi sudut kemiringan poros turbin yang dilakukan [2] menggunakan analisis CFD untuk menguji kinerja AST pada sudut  $20^\circ$  hingga  $30^\circ$ , didapatkan nilai efisiensi tertinggi desain turbin pada sudut ulir  $26^\circ$  dengan sudut turbin  $30^\circ$ , dengan nilai efisiensi 95,37%, dan daya sebesar 80072,98 Watt. Sedangkan untuk efisiensi terendah terdapat pada desain turbin sudut ulir  $22^\circ$  dengan sudut turbin  $20^\circ$  dengan nilai efisiensi 86,52%, dan daya sebesar sebesar 72643,44 Watt. Nilai efisiensi tersebut dipengaruhi oleh besar daya *output* turbin yang dihasilkan.

[3] telah melakukan Penelitian menunjukkan bahwa karakteristik mekanik maksimum yaitu torsi dan rpm maksimum terjadi pada sudut elevasi  $30^\circ$  dengan torsi sekitar 0,0237 Nm dan rpm turbin besar sekitar 839,85 rpm. Karakteristik listrik maksimum yaitu tegangan, arus, dan daya maksimum juga terjadi pada sudut  $30^\circ$  dengan tegangan cukup besar 5,44 V, arus 5,34 mA, yang kemudian menghasilkan daya listrik sebesar 27.873 mW. Nilai maksimum tersebut diperoleh pada beban  $1\text{ k}\Omega$ . Peningkatan sudut elevasi turbin dari  $20^\circ$  menjadi  $30^\circ$  menyebabkan peningkatan gaya hidrostatis yang memutar turbin secara signifikan.

Sebaliknya, beberapa studi lainnya menunjukkan kinerja optimal pada sudut yang sedikit lebih rendah. [4] melaporkan efisiensi maksimum pada didapatkan Turbin ulir dengan diameter luar 142 mm dan debit air  $1,2\text{ l/s}$  dengan head  $0,25\text{ m}$ , dapat menghasilkan daya maksimum  $1,4\text{ W}$  dengan efisiensi 49% pada sudut kemiringan  $22^\circ$ .

Turbin ini memiliki satu sudu ulir. Turbin ulir telah menunjukkan potensi yang baik untuk digunakan pada instalasi mikrohidro listrik dengan head rendah. Pada penelitian yang dilakukan [5] bertujuan untuk merancang AST, menentukan persamaan teoritis untuk menghitung kinerja AST, menentukan debit air optimum, dan menganalisis karakteristik AST terhadap variasi kecepatan putar tiap sudu, sudut kemiringan, dan debit air optimum. Penelitian ini menghasilkan AST dengan satu sudu dan dua sudu dengan dimensi optimum. Persamaan teoritis dirumuskan dengan menghasilkan error 8% hingga 0,4%. Debit air optimum pada AST untuk 1 sudu adalah  $4\text{ l/s}$ , sedangkan untuk 2 sudu adalah  $8\text{ l/s}$ . Torsi maksimum untuk 1 sudu sebesar  $1,03\text{ Nm}$  dan untuk 2 sudu sebesar  $2,14\text{ Nm}$  dengan kecepatan putar optimum dan sudut inklinasi sebesar  $14,7\text{ rad/s}$   $29^\circ$ . Daya turbin maksimum untuk 1 sudu sebesar  $15,14\text{ W}$  dan untuk 2 sudu sebesar  $31,46\text{ W}$  dengan kecepatan putar optimum dan sudut inklinasi sebesar  $14,7\text{ rad/s}$   $29^\circ$ . Efisiensi turbin maksimum untuk 1 sudu sebesar 80,70% dan 2 sudu sebesar 82,68% dengan kecepatan putar optimum  $14,7\text{ rad/s}$  dan sudut inklinasi optimum untuk 1 sudu sebesar  $27^\circ$  sedangkan untuk 2 sudu sebesar  $29^\circ$ . Variasi ini menunjukkan bahwa kinerja optimal tidak bersifat tetap, melainkan bergantung pada geometri turbin, debit aliran, dan skala sistem.

Meskipun turbin ulir Archimedes (AST) telah diteliti sebagai solusi tenaga air dengan tekanan rendah, sebagian besar penelitian yang ada mengeksplorasi kinerja pada interval kemiringan yang luas umumnya  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ , atau  $45^\circ$  tanpa menyelidiki secara saksama pengaruh terperinci dari variasi sudut kecil. Penelitian [4], [6], dan [7] mengonfirmasi bahwa sudut kemiringan memengaruhi output turbin secara signifikan, namun penelitian tersebut tidak memberikan data eksperimen terperinci antara sudut yang umum digunakan.

Terdapat banyak penelitian yang bergantung pada simulasi komputasional atau model teoritis, yang sering kali mengabaikan metrik kinerja mekanis dunia nyata seperti torsi dan kecepatan poros dalam kondisi aliran yang terkontrol. Akibatnya, masih terdapat kekurangan data empiris beresolusi tinggi yang menunjukkan bagaimana penyesuaian kecil pada sudut poros dalam rentang sempit  $22^\circ - 30^\circ$  mempengaruhi output dan efisiensi turbin ulir Archimedes, terutama dalam skenario kecepatan rendah dan head rendah. Perlu dilakukan penelitian lebih mendalam terhadap pengaruh posisi poros turbin terhadap kinerja dari turbin pada posisi tertentu untuk mendapatkan potensi yang belum diteliti. Posisi sudut kemiringan poros turbin yang diteliti  $22^\circ, 24^\circ, 26^\circ, 28^\circ$ , dan  $30^\circ$ .

## II. LANDASAN TEORI

### A. Prinsip Kerja Turbin Ulir Archimedes

Dalam proses perubahan energi pada turbin ulir hingga menjadi energi listrik yaitu dimana energi yang berasal dari energi mekanis yang terdapat pada air dan perubahan tekanan yang terjadi pada sudu mengakibatkan sudu berputar dan memutar poros. Selanjutnya daya dari poros ditransmisikan ke generator yang nantinya diubah menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator nantinya didistribusikan ke konsumen. Secara lebih mendalam prinsip kerja dari turbin ini dimana tekanan dari air yang melalui sudu-sudu sudu turbin mengalami penurunan tekanan sejalan dengan penurunan kecepatan air akibat adanya hambatan dari sudu-sudu sudu turbin maka tekanan ini akan memutar turbin dan mengerakan generator listrik setelah sebelumnya daya putaran poros ditransmisikan melalui *gearbox*.

### B. Geometri Ulir

Geometri ulir adalah bentuk dari ulir atau ukuran dari ulir yang terdiri dari diameter,

pitch, dan panjang ulir. Pengaruh geometri ulir terhadap kinerja turbin sebagai berikut:

- 1) Diameter ulir yang lebih besar memungkinkan ulir menangkap volume air yang lebih besar per putaran. Hal ini meningkatkan torsi dan dapat memperbaiki keluaran daya mekanis dari turbin.
- 2) Pitch yang lebih panjang dapat meningkatkan kecepatan putaran skerup tetapi dapat mengurangi volume air yang tertahan di antara ulir, sehingga menurunkan efisiensi. Pitch yang lebih pendek menahan lebih banyak air tetapi dapat mengurangi kecepatan putaran dari turbin.

### C. Jumlah Sudu

Menambah jumlah sudu dapat meningkatkan kemampuan turbin untuk menahan air dalam lintasannya, yang meningkatkan potensi perpindahan energi dari aliran air ke putaran mekanis lebih besar. Hal ini disebabkan lebih banyak sudu yang dapat menyentuh permukaan air, sehingga memungkinkan konversi energi hidrolik menjadi torsi mekanis yang lebih baik. Jumlah sudu yang berlebih dapat menyebabkan peningkatan gesekan dan kehilangan daya hidrolik, sehingga mengurangi efisiensi.

### D. Kemiringan Poros

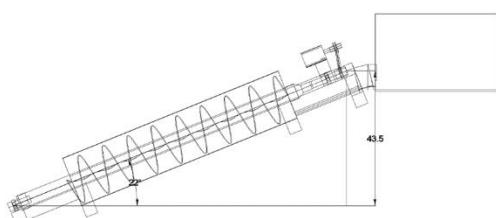
Sudut kemiringan merupakan salah satu parameter desain yang paling penting dalam Turbin ulir Archimedes karena sangat mempengaruhi kinerja keseluruhan sistem. Sudut ini menentukan seberapa efektif turbin mengubah energi hidrolik dari aliran air menjadi energi mekanik dan selanjutnya menjadi energi listrik. Pada penelitian yang dilakukan (Nugroho, 2017) pada turbin ulir, faktor kemiringan turbin ulir mempengaruhi hasil efisiensi dari turbin. Posisi kemiringan yang curam pada turbin ulir, didesain untuk mencapai kecepatan tinggi dan tekanan air

yang tinggi untuk memutar turbin, semakin tinggi tekanan atau kecepatan air maka semakin cepat daya putar turbin akan mempengaruhi daya keluaran yang dihasilkan oleh generator.

Salah satu faktor utama yang dipengaruhi oleh sudut kemiringan adalah tekanan hidrolik yakni ketinggian vertikal jatuhnya air yang akan meningkat seiring dengan bertambahnya sudut. Head yang lebih tinggi umumnya memungkinkan lebih banyak energi potensial masuk ke dalam sistem, yang secara teori dapat menghasilkan daya keluaran yang lebih besar. Namun, peningkatan head ini sering kali diimbangi dengan penurunan efisiensi pengisian air ke dalam ulir serta peningkatan kebocoran internal. Pada sudut yang lebih curam, air mungkin tidak sepenuhnya mengisi ruang antar ulir, terutama jika desainnya tidak menggunakan saluran pelindung yang rapat atau jika debit airnya rendah.

### III. METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan secara eksperimental dengan memvariasikan posisi pada turbin ulir Archimedes untuk menemukan nilai efisiensi tertinggi. Penelitian menggunakan debit 0,0014 m<sup>3</sup>/s, Torsi (1-4 Nm), dan variasi sudut 22°, 24°, 26°, 28°, 30°.



Gambar 2.1 Skema Turbin Ulir Archimedes

Pengambilan data diawali dengan menyalakan pompa untuk memulai pengujian pada turbin ulir Archimedes. Sesuaikan debit dari turbin dengan mengatur bukaan katup

pipa untuk mendapatkan kecepatan dari debit yang diinginkan. Pengukuran debit dapat dilakukan dengan mengalirkan air ke wadah 1 Liter dan mengukur waktu yang diperlukan hingga wadah terisi penuh. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan debit sebagai berikut:

$$Q = \frac{v}{s} \quad (1)$$

Keterangan:

$Q$  = Debit ( $m^3/s$ )

$v$  = Volume wadah ( $m^3$ )

$s$  = Waktu yang diperlukan mengisi (s)

Setelah mengetahui debit lakukan pengaturan beban pada load cell (Torque Meter). Pembacaan torsi dapat dilihat pada layar torque meter, Atur torsi hingga mencapai 1 Nm dengan menyesuaikan beban pada loadcell.



Gambar 2.2 Torquemeter

Sesuaikan kaki turbin kemiringan poros turbin hingga 22° dengan bantuan alat ukur Waterpass anglemeter. Pengambilan data dapat dimulai dengan mengukur RPM pada turbin dengan alat ukur Tachometer. Pengambilan data dilakukan dengan mencatat data selama 1 menit sebanyak 3 kali untuk meminimalisir kesalahan dalam pembacaan data pada tachometer. Setelah selesai mengumpulkan data ulangi proses pengambilan data pada sudut 24°, 26°, 28°, dan 30° dengan langkah serupa tanpa melakukan perubahan pada debit.

Pengujian selanjutnya sesuaikan torsi pada turbin hingga 2 Nm dan lakukan pengukuran RPM dengan tachometer pada sudut 22°.

Setelah melakukan pengukuran pada  $22^\circ$  lakukan pengukuran pada sudut  $24^\circ$ ,  $26^\circ$ ,  $28^\circ$ , dan  $30^\circ$  dengan langkah serupa. Lakukan pengujian secara berulang dengan langkah yang sama pada torsi 3 Nm dan 4 Nm.

Data yang diperoleh dari hasil perhitungan rumus persamaan sehingga dapat memudahkan pembaca mengetahui pengaruh posisi poros turbin terhadap nilai efisiensi turbin ulir Archimedes. Dalam rangkaian turbin ulir terdapat daya yang dihasilkan dari mengkonversi putaran dari poros turbin yang berasal dari aliran air. Daya yang dihasilkan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan rumus berikut:

$$P = \rho \times Q \times h \times g \quad (2)$$

Keterangan:

$$P = \text{Daya Teoritis} \\ / \text{daya masuk (watt)}$$

$$\rho = \text{Massa Jenis Fluida (kg/m}^3\text{)}$$

$$Q = \text{Debit (m}^3/\text{s)}$$

$$h = \text{Ketinggian Efektif (m)}$$

$$g = \text{Gaya Gravitasi (m/s}^2\text{)}$$

Daya masuk atau daya yang dihasilkan dari turbin dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$P = \frac{2\pi NT}{60} \quad (3)$$

Keterangan:

$$P = \text{Daya Teoritis} \\ / \text{daya keluar (watt)}$$

$$N = \text{Putaran permenit (RPM)}$$

$$T = \text{Torsi (Nm)}$$

Dalam sebuah pembangkit listrik tenaga air, harus diketahui tingkat efisiensi saat menggunakan turbin. Efisiensi didapatkan dalam persamaan rumus berikut:

$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan:

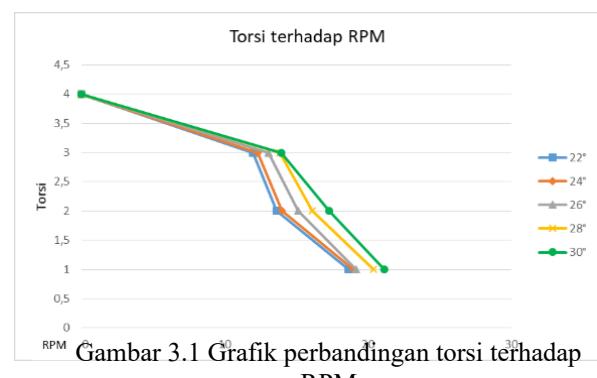
$$n = \text{Efisiensi}$$

$$P_{out} = \text{Daya keluar (watt)}$$

$$P_{in} = \text{Daya masuk (watt)}$$

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

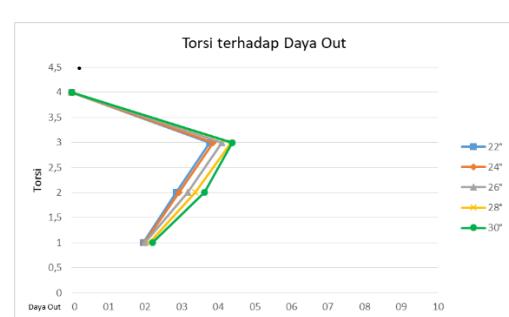
##### A. RPM VS TORSI



Gambar 3.1 Grafik perbandingan torsi terhadap RPM

Hasil eksperimen menunjukkan kecepatan rotasi, peningkatan torsi dari 1 Nm ke 3 Nm menyebabkan RPM menurun secara bertahap. Penurunan ini terjadi karena beban mekanik yang lebih tinggi memerlukan tenaga dorong yang lebih besar dari air untuk mempertahankan rotasi. Saat torsi mencapai 4 Nm, turbin sepenuhnya berhenti berputar ( $\text{RPM} = 0$ ), yang menandakan bahwa sistem telah melampaui batas kemampuan torsi-nya. Temuan ini sejalan dengan [3], yang melaporkan bahwa peningkatan beban secara langsung menurunkan RPM turbin. Hasil simulasi oleh [5] juga mendukung fenomena ini, di mana torsi tinggi tanpa penyesuaian terhadap debit dan head akan membuat sistem kehilangan putaran. [8] menegaskan bahwa turbin ulir skala kecil memiliki keterbatasan dalam menahan torsi besar karena keterbatasan konversi energi fluida menjadi rotasi mekanik.

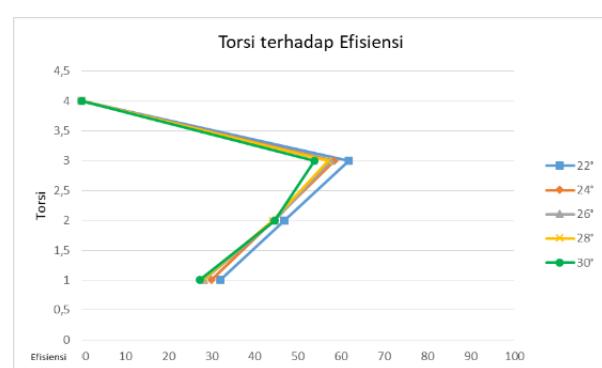
##### B. DAYA OUT VS TORSI



Gambar 4.2 Grafik perbandingan torsi terhadap daya out

Hal ini menunjukkan daya yang dihasilkan dari poros turbin dipengaruhi oleh kemiringan dari turbin. Daya output dalam eksperimen ini meningkat seiring bertambahnya torsi hingga titik optimum pada 3 Nm. Pada titik tersebut, perpaduan antara torsi dan RPM masih berada dalam kisaran kerja yang efisien. Namun, saat torsi dinaikkan menjadi 4 Nm, daya output anjlok ke nol karena turbin tidak lagi berputar. Namun, saat torsi dinaikkan menjadi 4 Nm, daya output anjlok ke nol karena turbin tidak lagi berputar. [1] dalam studi eksperimentalnya menyatakan bahwa daya maksimum hanya bisa dicapai saat aliran air dan beban berada dalam kondisi seimbang. [9] juga menjelaskan bahwa peningkatan daya akan terus terjadi seiring kenaikan torsi selama RPM tetap stabil. [4] memperkuat temuan tersebut dengan menunjukkan bahwa daya output maksimum diperoleh pada titik torsi menengah, dan akan turun drastis jika sistem kelebihan beban.

### C. EFISIENSI VS TORSI



Gambar 4.3 Grafik perbandingan torsi terhadap efisiensi

Hal ini menunjukkan pengaruh dari posisi poros turbin akan berdampak kepada nilai efisiensi dari turbin. Efisiensi menunjukkan tren yang serupa, Pada torsi 1 Nm hingga 3

Nm, efisiensi meningkat, dengan titik tertinggi tercapai pada torsi 3 Nm. Setelah itu, pada torsi 4 Nm, efisiensi turun menjadi nol akibat berhentinya putaran turbin. [4] menjelaskan bahwa efisiensi tinggi pada turbin sekrup diperoleh saat torsi berada dalam batas kemampuan sistem dan pengisian ulir berlangsung optimal. [1] juga mencatat bahwa efisiensi maksimum terjadi ketika fluida mengisi ulir dengan baik dan tidak terjadi kelebihan beban mekanik. [9] menambahkan bahwa efisiensi akan turun drastis saat torsi melebihi kapasitas desain turbin, karena terjadi peningkatan kebocoran dan kehilangan energi akibat turbulensi dan overflow. Pada sudut poros 30°, daya output yang dihasilkan memang lebih besar dibandingkan sudut 22°. Namun, efisiensinya justru lebih rendah. Hal ini dapat dijelaskan dengan melihat perbedaan head (H) yang cukup signifikan pada sudut 22°, head sebesar 0,435 m, sedangkan pada sudut 30° mencapai 0,58 m. Daya input pada sudut 30° jauh lebih besar karena energi potensial air yang masuk ke sistem meningkat. Walaupun daya output juga naik, peningkatannya tidak sebanding dengan kenaikan input, sehingga rasio output terhadap input (efisiensi) menurun. Selain itu, sudut 30° menyebabkan aliran air bergerak lebih cepat, sehingga ruang ulir tidak terisi sempurna, dan meningkatkan risiko overflow serta kebocoran. Fenomena ini didukung oleh [4] dan [1], yang menyatakan bahwa sudut terlalu curam dapat memperburuk pengisian ulir dan menurunkan efisiensi. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi tercapai pada torsi 3 Nm dan sudut poros 22°, karena pada kondisi tersebut terjadi keseimbangan optimal antara torsi, kecepatan rotasi, dan daya input yang digunakan secara efektif. Efisiensi bukan hanya bergantung pada daya output, tetapi juga pada seberapa baik sistem memanfaatkan energi input yang tersedia.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh variasi torsi terhadap kinerja turbin ulir Archimedes pada beberapa sudut kemiringan poros  $22^\circ$ ,  $24^\circ$ ,  $26^\circ$ ,  $28^\circ$ , dan  $30^\circ$ , dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan erat antara torsi dengan kecepatan rotasi RPM, Daya output, dan Efisiensi. Peningkatan torsi hingga titik optimum 3 Nm menghasilkan daya output dan efisiensi tertinggi, namun setelah melewati batas tersebut 4 Nm, turbin kehilangan kemampuan berputar dan daya serta efisiensi turun ke nol.

Sudut  $30^\circ$  menghasilkan daya output yang lebih besar dibandingkan sudut  $22^\circ$ . Tetapi efisiensi yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan  $22^\circ$ . Hal ini disebabkan oleh nilai head ( $h$ ) yang lebih tinggi pada sudut  $30^\circ$ , yang menyebabkan daya input meningkat lebih besar dibanding kenaikan daya output. Selain itu, pada sudut curam, pengisian ulir menjadi tidak optimal dan kebocoran fluida meningkat akibat overflow dan turbulensi. Sebaliknya, sudut  $22^\circ$  memberikan kinerja terbaik secara efisiensi karena energi air lebih dimanfaatkan secara optimal dengan kebocoran yang lebih minim. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa sudut poros  $22^\circ$  dan torsi sebesar 3 Nm merupakan kombinasi optimal untuk memperoleh efisiensi maksimum pada sistem turbin ulir Archimedes skala kecil.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. P. Juliana, A. I. Weking, dan L. Jasa, "Pengaruh Pengaruh Sudut Kemiringan Head Turbin Ulir Terhadap Daya Putar Turbin Ulir Dan Daya Output Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 17, no. 3, hlm. 393, Des 2018, doi: 10.24843/MITC.2018.v17i03.P14.,
- [2] S. A. Ahmad, N. D. Fajarningrum, dan S. Iswahyudi, "Analisis Variasi Kemiringan Sudut Turbin Single Blade Terhadap Efisiensi Dan Daya Pada Archimedes Screw Menggunakan Computational Fluid Dynamics (Cfd)," *Elem. J. Tek. MESIN*, vol. 11, no. 2, hlm. 126–133, Des 2024, doi: 10.34128/je.v11i2.291.,
- [3] B. Indarto, A. M. Kurnia Putra, dan M. A. Bustomi, "Characteristics Analysis of the Archimedes Screw Turbine Micro-hydro Power Plant with Variation of Turbine Elevation Angle," *J. Fis. Dan Apl.*, vol. 17, no. 2, hlm. 56, Jun 2021, doi: 10.12962/j24604682.v17i2.8983.,
- [4] Erinofiardi dkk., "Experimental Study of Screw Turbine Performance based on Different Angle of Inclination," *Energy Procedia*, vol. 110, hlm. 8–13, Mar 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.094.,
- [5] N. Riyandi dan P. Soetikno, "Design and Simulation of Archimedes Screw Turbine at Head Below 1 Meter," *ITB Grad. Sch. Conf.*, vol. 1, no. 1, hlm. 151–170, 2022.,
- [6] T. Saroinsong, R. Soenoko, S. Wahyudi, dan M. N. Sasongko, "The Effect of Head Inflow and Turbine Axis Angle Towards The Three Row Bladed Screw Turbine Efficiency," *Int. J. Renew. Energy Res.*, vol. 6, no. 3, hlm. 1153–1158, 2016.,
- [7] D. S. Edirisinghe, H.-S. Yang, M.-S. Kim, B.-H. Kim, S. P. Gunawardane, dan Y.-H. Lee, "Computational Flow Analysis on a Real Scale Run-of-River Archimedes Screw Turbine with a High Incline Angle," *Energies*, vol. 14, no. 11, hlm. 3307, Jun 2021, doi: 10.3390/en14113307.
- [8] Z. Abbas, M. Waqas, S. S. Khan, R. Khatoon, S. Larkin, dan L. Zhao, "Numerical and experimental investigation of an Archimedes screw turbine for open channel water flow application," *Energy Sci. Eng.*, vol. 12, no. 4, hlm. 1317–1336, Des 2023, doi: 10.1002/ese3.1649.
- [9] R. Thakur dkk., "Potential of the Archimedes screw to generate sustainable green energy for mini, micro, and pico

hydro Turbine power stations: An extensive analysis," *Energy Strategy Rev.*, vol. 55, hlm. 101514, Sep 2024, doi: 10.1016/j.esr.2024.101514.,