

Rancang Bangun Turbin Air Tipe *Archimedes screw* dan Pengaruh Efisiensi Terhadap Produksi Listrik Pada Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro

Isra' Nuur Darmawan, Kholistianingsih, dan Reza Aziz Abdillah

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Wijayakusuma Purwokerto

Jl. Raya Beji Karangsalam No.25, Kedungbanteng, Banyumas, Jawa Tengah 53152

e-mail : isra.nuur.darmawan@unwiku.ac.id

Received 10 Juli 2025 | Revised 12 Januari 2026 | Accepted 6 Februari 2026

ABSTRAK

Pemanfaatan energi air sebagai sumber energi terbarukan menjadi alternatif strategis dalam penyediaan listrik skala kecil, khususnya melalui sistem pembangkit listrik tenaga pikohidro (PLTPH). Salah satu jenis turbin yang sesuai untuk kondisi head rendah dan debit relatif kecil adalah turbin *Archimedes screw*, yang bekerja berdasarkan gaya dorong aliran air pada sudu berbentuk ulir. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja turbin *Archimedes screw* pada sistem PLTPH, dengan fokus pada pengaruh debit air terhadap efisiensi turbin dan produksi listrik. Penelitian dilakukan melalui pendekatan terintegrasi yang meliputi penentuan parameter hidraulik awal, perancangan geometrik turbin, simulasi numerik menggunakan SolidWorks Flow Simulation, serta pengujian eksperimental di lapangan. Hasil simulasi menunjukkan tekanan maksimum sebesar 139.132 Pa dan kecepatan aliran maksimum 4,427 m/s pada debit 0,20 m³/s. Pengujian eksperimental menghasilkan kecepatan aliran rata-rata 4,24 m/s dan kecepatan putaran turbin 222,7 RPM. Analisis kinerja menunjukkan bahwa debit air rata-rata sebesar 0,212 m³/s menghasilkan efisiensi turbin sebesar 68,09% dan daya listrik rata-rata 10,70 W. Hasil penelitian menunjukkan bahwa debit air merupakan parameter dominan yang memengaruhi efisiensi turbin dan produksi listrik pada sistem PLTPH berbasis turbin *Archimedes screw*.

Kata kunci: pembangkit listrik tenaga pikohidro, turbin *Archimedes screw*, debit air, efisiensi turbin, produksi listrik

ABSTRACT

The utilization of water energy as a renewable energy source represents a strategic alternative for small-scale electricity generation, particularly through pico-hydropower systems. One turbine type suitable for low-head and low-flow conditions is the *Archimedes screw* turbine, which operates based on the thrust force of water flow acting on helical blades. This study aims to analyze the performance of an *Archimedes screw* turbine in a pico-hydropower system, with emphasis on the effect of water discharge on turbine efficiency and electrical power output. The research employed an integrated approach comprising the determination of initial hydraulic parameters, turbine geometric design, numerical simulation using SolidWorks Flow Simulation, and experimental testing under actual field conditions. Simulation results indicated a maximum pressure of 139,132 Pa and a maximum flow velocity of 4.427 m/s at a discharge of 0.20 m³/s. Experimental testing produced an average water velocity of 4.24 m/s and a turbine rotational speed of 222.7 RPM. Performance analysis showed that an average discharge of 0.212 m³/s resulted in a turbine efficiency of 68.09% and an average electrical power output of 10.70 W. These results confirm that water discharge is a dominant parameter influencing turbine efficiency and electrical power generation in pico-hydropower systems utilizing *Archimedes screw* turbines.

Keywords: pico-hydropower, *Archimedes screw* turbine, water discharge, turbine efficiency, power generation

1. Pendahuluan

Urgensi penyediaan energi listrik sebagai instrumen fundamental pembangunan nasional semakin mengemuka seiring dengan meningkatnya tekanan terhadap ketersediaan sumber energi primer. Struktur bauran energi Indonesia hingga saat ini masih menunjukkan ketergantungan dominan terhadap energi fosil, suatu kondisi yang berada pada lintasan tidak berkelanjutan. Penurunan cadangan hidrokarbon, dikombinasikan dengan pertumbuhan kebutuhan energi, menempatkan sistem ketenagalistrikan nasional pada risiko krisis pasokan jangka [1], [2]. Situasi ini menuntut penguatan strategi transisi energi melalui pengembangan sumber energi terbarukan yang berkelanjutan dan berdaya [1], [3]. Dalam konteks tersebut, energi air menempati posisi strategis karena ketersediaannya relatif stabil serta tersebar luas, khususnya pada wilayah yang didominasi jaringan sungai dan saluran irigasi.

Pembangkit listrik tenaga air skala kecil, termasuk pembangkit listrik tenaga pikohidro (PLTPH), menawarkan solusi yang relevan bagi wilayah dengan keterbatasan infrastruktur kelistrikan. Sistem ini memanfaatkan debit air relatif kecil dan perbedaan elevasi rendah untuk menghasilkan energi listrik secara kontinu, sehingga dapat diaplikasikan pada saluran irigasi dan aliran permukaan yang tidak memungkinkan penggunaan turbin konvensional berskala [3], [4]. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa penerapan sistem mikro dan pikohidro berkontribusi terhadap peningkatan akses energi listrik di daerah terpencil dengan dampak lingkungan yang [10].

Kinerja PLTPH sangat ditentukan oleh kesesuaian karakteristik turbin terhadap kondisi hidraulik lapangan. Ketidaktepatan pemilihan jenis turbin, khususnya pada skenario *head* rendah dan debit air yang berfluktuasi, berpotensi menurunkan efisiensi konversi energi dan membatasi daya listrik yang [5], [6]. Oleh sebab itu, pendekatan perancangan turbin yang spesifik terhadap kondisi aliran lokal menjadi prasyarat utama dalam optimalisasi kinerja sistem.

Turbin *Archimedes screw* merupakan salah satu alternatif yang banyak dikaji untuk aplikasi pembangkit listrik tenaga air skala kecil. Mekanisme kerjanya didasarkan pada gaya dorong air terhadap sudu berbentuk ulir, yang memungkinkan operasi stabil pada kondisi *head* rendah dan variasi debit yang signifikan [7], [8]. Dibandingkan turbin impuls maupun reaksi konvensional, turbin ini memiliki konstruksi sederhana, toleransi tinggi terhadap sedimen, serta karakteristik operasi yang relatif ramah terhadap ekosistem perairan [8], [9].

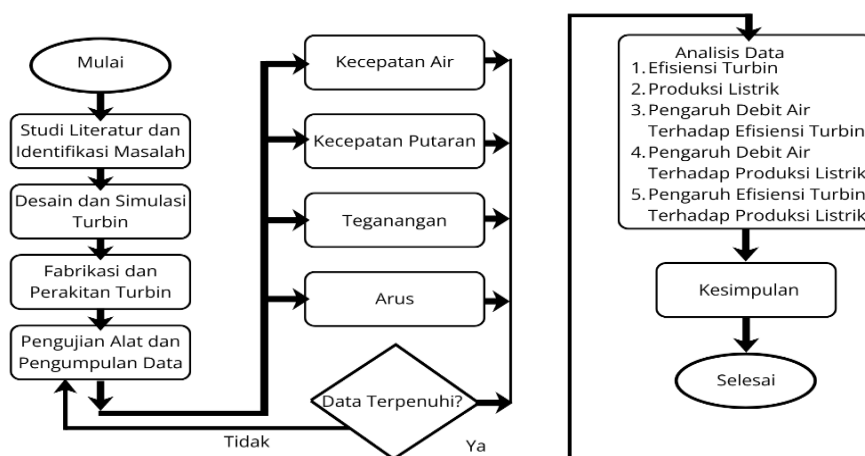
Kajian terdahulu menunjukkan bahwa parameter geometris turbin *Archimedes screw*, seperti sudut kemiringan, pitch, jumlah ulir, dan diameter poros, berpengaruh langsung terhadap efisiensi turbin dan daya keluaran sistem [7], [10], [11]. Selain itu, debit air berperan sebagai parameter hidraulik dominan yang memengaruhi kecepatan putar, torsi, dan daya mekanik turbin, yang pada akhirnya menentukan besarnya energi listrik yang dapat dikonversi oleh generator [9], [12], [13]. Namun demikian, hubungan kuantitatif antara debit air dan efisiensi turbin pada skala PLTPH masih sangat dipengaruhi oleh konfigurasi desain dan kondisi lapangan, sehingga hasil penelitian bersifat kontekstual dan belum dapat digeneralisasi secara langsung.

Pendekatan berbasis simulasi numerik dan *computational fluid dynamics* (CFD) telah banyak digunakan untuk menganalisis karakteristik aliran dan distribusi gaya pada turbin *Archimedes screw*. Meskipun demikian, sebagian besar studi tersebut masih terfokus pada analisis desain atau simulasi numerik tanpa dukungan validasi eksperimental yang memadai [14], [15]. Sebaliknya, penelitian eksperimental yang dilakukan di lapangan sering kali belum mengintegrasikan hasil simulasi sebagai dasar optimasi desain, sehingga potensi peningkatan kinerja turbin belum dimanfaatkan secara optimal.

Berdasarkan celah penelitian tersebut, studi ini difokuskan pada perancangan dan pengujian turbin air tipe *Archimedes screw* yang diintegrasikan pada sistem pembangkit listrik tenaga pikohidro. Penelitian ini secara khusus menganalisis pengaruh debit air terhadap efisiensi turbin dan produksi energi listrik melalui pendekatan terpadu yang mencakup perhitungan parameter awal, pemodelan dan simulasi aliran menggunakan *SolidWorks Flow Simulation*, serta pengujian eksperimental pada kondisi lapangan nyata. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah berupa pemahaman kuantitatif mengenai keterkaitan antara debit air, kinerja turbin, dan keluaran listrik pada sistem PLTPH, sekaligus menjadi rujukan teknis bagi pengembangan pembangkit listrik tenaga air skala kecil yang lebih efisien dan aplikatif.

2. Metodologi

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental yang dipadukan dengan simulasi numerik untuk menganalisis kinerja turbin air tipe *Archimedes screw* pada sistem pembangkit listrik tenaga pikohidro (PLTPH). Metodologi disusun secara sistematis untuk memastikan keterkaitan yang konsisten antara tahap perancangan, simulasi, fabrikasi, hingga pengujian eksperimental. Alur metodologi penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Metode Penelitian

2.1. Studi Literatur dan Identifikasi Masalah

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh landasan teoritis mengenai prinsip kerja PLTPH, karakteristik turbin *Archimedes screw*, serta pengaruh debit air terhadap efisiensi dan produksi energi listrik. Literatur yang dikaji mencakup jurnal nasional dan internasional yang membahas desain, simulasi numerik, serta pengujian eksperimental turbin ulir pada kondisi *low head* dan debit kecil [3], [7]-[9].

Identifikasi masalah dilakukan melalui survei lapangan di saluran irigasi Sekunder Onggok Bawah (SS. Onggok Bawah), Kecamatan Bukateja. Survei ini bertujuan untuk memperoleh gambaran kondisi aktual saluran, karakteristik aliran air, serta potensi penerapan PLTPH. Data awal hasil survei digunakan sebagai dasar penentuan parameter perancangan turbin dan skenario pengujian.

2.2. Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada saluran irigasi SS. Onggok Bawah yang terletak di Desa Penaruban, Kecamatan Bukateja, Kabupaten Purbalingga, Provinsi Jawa Tengah. Lokasi penelitian dan tampak kondisi lapangan masing-masing ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.

**Gambar 2.** Lokasi Penelitian**Gambar 3.** Tampak Lokasi Penelitian

Pemilihan lokasi didasarkan pada kestabilan aliran air, geometri saluran yang memiliki kemiringan alami, serta lebar saluran yang memadai untuk pemasangan turbin tanpa modifikasi struktur yang signifikan. Karakteristik hidraulik saluran mendukung penerapan turbin *Archimedes screw* pada kondisi *head* rendah, sesuai dengan tujuan penelitian.

2.3. Penentuan Parameter Hidrolik

Parameter hidrolik awal ditentukan berdasarkan hasil pengukuran langsung di lokasi penelitian. Luas penampang aliran air dihitung menggunakan Persamaan (1):

$$A = L \times t \quad (1)$$

Debit air ditentukan sebagai hasil perkalian antara luas penampang aliran dan kecepatan aliran air, sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (2):

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

Daya hidrolik yang tersedia pada aliran air dihitung menggunakan Persamaan (3):

$$Ph = p \times g \times Q \times H \quad (3)$$

dengan H merupakan tinggi jatuh air efektif yang diperoleh dari perbedaan elevasi saluran di lokasi penelitian.

2.4. Desain dan Simulasi Turbin *Archimedes screw*

Perancangan turbin dilakukan berdasarkan parameter hidrolik yang telah ditentukan. Parameter geometrik utama yang dirancang meliputi sudut kemiringan turbin, diameter turbin, diameter poros, pitch ulir, panjang turbin, dan jumlah ulir.

Sudut kemiringan turbin dihitung menggunakan Persamaan (4):

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{y}{x} \right) \quad (4)$$

Diameter turbin ditentukan menggunakan pendekatan empiris sebagaimana Persamaan (5):

$$D = \sqrt[3]{\frac{Q}{k n}} \quad (5)$$

Diameter poros, pitch turbin, panjang turbin, dan jumlah ulir masing-masing ditentukan menggunakan Persamaan (6)–(9):

$$d = 0,3 \times D \quad (6)$$

$$S = k \times D \quad (7)$$

$$L = \frac{H}{\sin \alpha} \quad (8)$$

$$Z = \frac{L}{S} \quad (9)$$

Seluruh parameter digunakan sebagai dasar pemodelan tiga dimensi (3D) turbin, rumah turbin, dan rangka penyangga menggunakan perangkat lunak SolidWorks. Model yang telah dirancang kemudian disimulasikan menggunakan modul *SolidWorks Flow Simulation* untuk menganalisis distribusi tekanan, kecepatan aliran, dan variasi suhu pada turbin [3], [14], [15].

2.5. Fabrikasi dan Perakitan Prototipe

Fabrikasi prototipe dilakukan berdasarkan hasil desain dan simulasi numerik. Proses ini meliputi pembuatan bilah turbin, poros, rangka penopang, dan rumah turbin dengan memperhatikan kesesuaian dimensi serta toleransi mekanis.



Gambar 4. Perakitan Prototipe

Perakitan prototipe ditunjukkan pada Gambar 4, yang memperlihatkan integrasi bilah turbin dengan poros serta sistem transmisi menuju generator. Proses perakitan dilakukan secara presisi untuk meminimalkan ketidaksejajaran poros dan rugi-rugi mekanik akibat gesekan.

2.6. Pengujian Eksperimental dan Pengumpulan Data

Pengujian eksperimental dilakukan dengan memasang prototipe turbin pada lokasi penelitian. Parameter yang diukur meliputi kecepatan aliran air, debit air, kecepatan putaran turbin, tegangan, dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator. Daya listrik keluaran dihitung menggunakan Persamaan (10):

$$P = V \times I \quad (10)$$

Data dimensi saluran dan kecepatan aliran air yang digunakan sebagai parameter awal pengujian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Dimensi dan Kecepatan Aliran Air

Kemiringan Irigasi	Panjang Irigasi	Tinggi Irigasi	Lebar Irigasi	Tinggi Air	Kecepatan Aliran Air
23°	7,53 m	2,94 m	0,5 m	0,1 m	4 m/s

Parameter pada Tabel 1 digunakan sebagai dasar penentuan debit air serta sebagai acuan dalam evaluasi kinerja turbin selama pengujian. Pengukuran dilakukan secara berulang untuk memperoleh data yang representatif, sementara debit air dihitung berdasarkan kecepatan aliran dan luas penampang saluran. Daya listrik diperoleh dari hasil pengukuran tegangan dan arus pada generator. Pendekatan ini sejalan dengan metode evaluasi kinerja PLTMH yang umum digunakan pada penelitian eksperimental [4], [15].

2.7. Validasi Hasil Simulasi terhadap Data Eksperimen

Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi numerik dengan data pengujian eksperimental, khususnya pada kecenderungan perubahan kecepatan aliran dan kinerja turbin terhadap variasi debit air. Kesesuaian tren antara simulasi dan eksperimen menunjukkan bahwa model numerik mampu merepresentasikan perilaku aliran air pada turbin secara memadai [7], [9].

2.8. Metode Analisi Data

Analisis data dilakukan secara kuantitatif untuk mengevaluasi hubungan antara debit air terhadap efisiensi turbin dan produksi listrik. Kecepatan sudut turbin dihitung menggunakan Persamaan (11):

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (11)$$

Daya mekanik turbin ditentukan menggunakan Persamaan (12):

$$P = T \times \omega \quad (12)$$

Efisiensi turbin dihitung menggunakan Persamaan (13):

$$\eta_t = \frac{P_m}{P_h} 100\% \quad (13)$$

Analisis ini digunakan untuk mengidentifikasi pengaruh debit air sebagai parameter utama yang menentukan kinerja PLTPH berdasarkan hubungan fisis yang terukur dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah [5], [7].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Parameter Awal

Parameter awal sistem diperoleh berdasarkan hasil pengukuran langsung di lokasi penelitian dan perhitungan menggunakan persamaan dasar hidrolika sebagaimana dijelaskan pada bagian Metodologi. Parameter ini digunakan sebagai dasar dalam perancangan turbin, pemodelan numerik, serta evaluasi kinerja sistem pembangkit listrik tenaga pikohidro.

Untuk memudahkan visualisasi dan evaluasi parameter yang diperoleh, hasil pengukuran dan perhitungan awal disajikan dalam Tabel 2. Tabel ini merangkum besaran utama yang menjadi acuan dalam perancangan turbin dan simulasi numerik.

Tabel 2. Parameter Awal

Kecepatan Air	Luas Penampang Air	Debit Air	Tinggi Jatuh Air	Torsi	Potensi Daya
4 m/s	0,05 m ²	0,2 m ³ /s	0,81 m	2512 Nm	1589,2 W

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa luas penampang aliran dan kecepatan air menghasilkan debit rata-rata sebesar 0,20 m³/s. Nilai debit tersebut mencerminkan kontinuitas aliran yang memadai untuk pengoperasian turbin *Archimedes screw* pada kondisi *head* rendah. Tinggi jatuh air efektif yang diperoleh sebesar 0,81 m menunjukkan bahwa sistem bekerja pada kondisi energi potensial terbatas. Pemilihan turbin *Archimedes screw* menjadi relevan dalam konteks ini karena karakteristiknya yang mampu beroperasi secara stabil pada debit relatif besar dan *head* rendah.

Berdasarkan nilai debit dan tinggi jatuh air tersebut, potensi daya hidrolik teoritis yang tersedia pada sistem mencapai 1.589,2 W. Nilai ini merepresentasikan batas maksimum daya yang dapat dimanfaatkan sebelum memperhitungkan rugi-rugi hidraulik, mekanik, dan elektrikal yang terjadi pada sistem aktual. Besaran torsi turbin tidak ditentukan secara langsung pada tahap parameter awal, karena nilai tersebut bergantung pada gaya hidrolik efektif dan distribusi momen pada sudu turbin. Evaluasi torsi dilakukan secara implisit melalui perhitungan daya mekanik berdasarkan kecepatan putaran turbin pada tahap pengujian eksperimental.

3.2. Hasil Pemodelan 3D

Pemodelan tiga dimensi turbin *Archimedes screw* dilakukan untuk merepresentasikan konfigurasi geometrik turbin secara presisi sebelum tahap simulasi numerik dan fabrikasi.

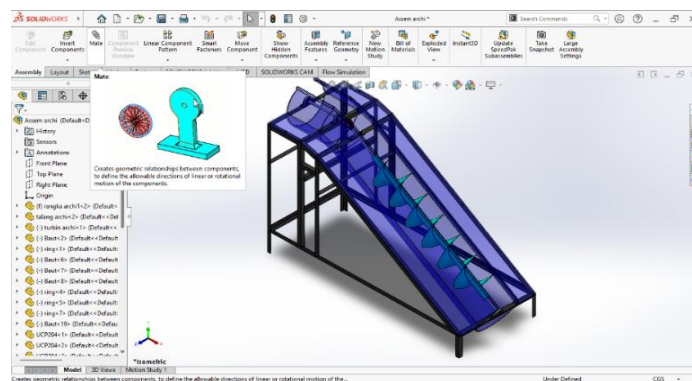
Model 3D disusun berdasarkan parameter hidraulik hasil pengukuran lapangan serta hasil perhitungan desain yang telah dijelaskan pada bagian Metodologi.

Model turbin terdiri atas bilah (*blade*) berbentuk ulir, poros utama, rangka penopang, serta rumah turbin. Sudut kemiringan turbin ditetapkan sebesar $31,9^\circ$, menyesuaikan tinggi jatuh air dan panjang lintasan aliran yang tersedia di lokasi penelitian. Penentuan sudut ini bertujuan untuk menjaga kontinuitas aliran serta meminimalkan kehilangan energi akibat separasi aliran dan turbulensi lokal.

Diameter luar bilah turbin dirancang sebesar 0,30 m, sedangkan diameter poros ditetapkan sebesar 0,10 m. Rasio diameter poros terhadap diameter turbin dipilih untuk menjaga keseimbangan antara kekuatan mekanik poros dan kapasitas volume air yang dapat ditampung oleh ulir turbin. Pitch ulir ditetapkan sebesar 0,25 m untuk menghasilkan kontinuitas aliran air sepanjang bilah serta mendukung pembangkitan torsi yang stabil.

Panjang total turbin dirancang sebesar 1,50 m dengan jumlah ulir sebanyak enam buah. Penentuan panjang dan jumlah ulir mempertimbangkan tinggi jatuh air efektif serta karakteristik aliran pada saluran irigasi. Konfigurasi ini bertujuan untuk memaksimalkan pemanfaatan energi potensial air sepanjang lintasan turbin tanpa meningkatkan kompleksitas struktur mekanik secara berlebihan.

Hasil pemodelan tiga dimensi ditunjukkan pada Gambar 5, yang memperlihatkan susunan komponen turbin *Archimedes screw* secara utuh dalam bentuk *assembly*. Model ini selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam proses simulasi aliran fluida dan sebagai acuan utama dalam tahap fabrikasi prototipe, sehingga kesesuaian antara desain, simulasi, dan kondisi aktual dapat terjaga.



Gambar 5. Model 3D *Assembly* Turbin *Archimedes screw*

3.3. Hasil Simulasi

Simulasi numerik dilakukan untuk mengevaluasi karakteristik aliran fluida pada turbin *Archimedes screw* sebelum tahap pengujian eksperimental. Analisis simulasi difokuskan pada distribusi tekanan, pola aliran fluida, dan perubahan suhu pada kondisi operasi yang merepresentasikan debit air aktual di lokasi penelitian.

1. Tekanan (*Pressure*)

Distribusi tekanan yang diperoleh dari simulasi memperlihatkan perbedaan gradien tekanan sepanjang bilah turbin. Pola ini mengindikasikan adanya transfer energi fluida ke sistem mekanik, sesuai dengan prinsip kerja turbin *Archimedes screw* pada kondisi *head* rendah. Pada kondisi debit air sebesar $0,20 \text{ m}^3/\text{s}$, tekanan maksimum yang teridentifikasi mencapai 139.132 Pa. Distribusi tekanan selanjutnya menurun secara bertahap sepanjang lintasan ulir menuju bagian hilir turbin. Pola ini menunjukkan bahwa energi potensial air bekerja secara dominan pada bagian awal sudu sebelum dikonversikan menjadi energi mekanik sepanjang turbin. Area

dengan tekanan tinggi tersebut menjadi pertimbangan utama dalam pemilihan material turbin agar mampu menahan beban mekanik selama operasi berkelanjutan.

2. Aliran Fluida (*Velocity*)

Pola aliran fluida yang terbentuk pada simulasi menunjukkan kecenderungan aliran mengikuti geometri ulir tanpa indikasi turbulensi ekstrem. Kondisi ini penting untuk menjaga kontinuitas aliran dan meminimalkan kehilangan energi akibat gangguan hidrodinamika. Pada debit air sebesar $0,20 \text{ m}^3/\text{s}$, kecepatan maksimum aliran tercatat sebesar $4,427 \text{ m/s}$. Distribusi kecepatan yang relatif merata di sepanjang sudu menunjukkan bahwa desain pitch, sudut kemiringan, dan jumlah ulir mampu mengarahkan aliran air secara stabil, sehingga mendukung pembangkitan torsi yang konsisten pada poros turbin.

3. Simulasi Suhu (*Temperature*)

Hasil simulasi suhu tidak menunjukkan kenaikan temperatur yang signifikan pada komponen turbin selama kondisi operasi yang disimulasikan. Pada debit air sebesar $0,20 \text{ m}^3/\text{s}$, suhu tertinggi tercatat sebesar $20,10 \text{ }^\circ\text{C}$ pada bagian pangkal turbin sisi luar, sedangkan suhu terendah sebesar $20,06 \text{ }^\circ\text{C}$ terjadi pada bagian dalam turbin. Selisih suhu maksimum yang terjadi hanya sebesar $0,07 \text{ }^\circ\text{C}$. Hal ini mengindikasikan bahwa efek termal tidak menjadi faktor dominan dalam mempengaruhi kinerja turbin pada rentang pengujian yang dilakukan.

3.4. Hasil Perancangan

Hasil perancangan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) diperoleh berdasarkan integrasi antara parameter hidraulik hasil survei lapangan, perhitungan teknis, serta hasil simulasi numerik. Perancangan difokuskan pada kesesuaian dimensi turbin *Archimedes screw* dengan kondisi aliran air di saluran irigasi SS. Onggok Bawah, sehingga sistem mampu beroperasi secara stabil pada kondisi *head* rendah dan debit relatif kecil.

Spesifikasi utama turbin hasil perancangan disajikan pada Tabel 3. Nilai-nilai tersebut merupakan hasil akhir dari tahapan perhitungan, simulasi, dan pertimbangan toleransi fabrikasi agar sistem dapat direalisasikan secara praktis di lapangan.

Tabel 3. Spesifikasi Turbin

Kemiringan Turbin	Diameter Turbin	Diameter Poros	Pitch Turbin	Panjang Turbin	Jumlah Ulir
$31,9^\circ$	0,30 m	0,10 m	0,25 m	1,50 m	6 Ulir

Hasil perancangan sistem PLTPH secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 6, yang memperlihatkan konfigurasi utama sistem, meliputi: (1) turbin *Archimedes screw* sebagai pengkonversi energi hidraulik menjadi energi mekanik, (2) generator sebagai pengubah energi mekanik menjadi energi listrik, serta (3) sistem monitoring AC/DC untuk pengukuran parameter listrik selama pengujian.



Gambar 6. Hasil Perancangan PLTPH

Integrasi antara turbin, generator, dan sistem monitoring dirancang untuk meminimalkan rugi-rugi mekanik dan kelistrikan. Sistem transmisi disusun secara koaksial untuk menjaga keselarasan poros dan meningkatkan stabilitas operasi. Dengan konfigurasi tersebut, sistem PLTPH yang dirancang diharapkan mampu merepresentasikan kondisi kerja aktual pembangkit pikohidro skala kecil yang memanfaatkan aliran irigasi tanpa modifikasi struktural signifikan.

3.5. Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja aktual turbin *Archimedes screw* setelah proses fabrikasi dan instalasi pada sistem PLTPH. Pengujian dilaksanakan selama dua hari dengan interval pengambilan data setiap 30 menit. Parameter yang diamati meliputi kecepatan aliran air, debit air, kecepatan putaran turbin, serta besaran daya hidrolik, daya mekanik, dan efisiensi turbin.

Data hasil pengujian digunakan untuk mengidentifikasi respon turbin terhadap variasi debit air serta untuk menilai kesesuaian kinerja aktual dengan hasil perancangan dan simulasi numerik.

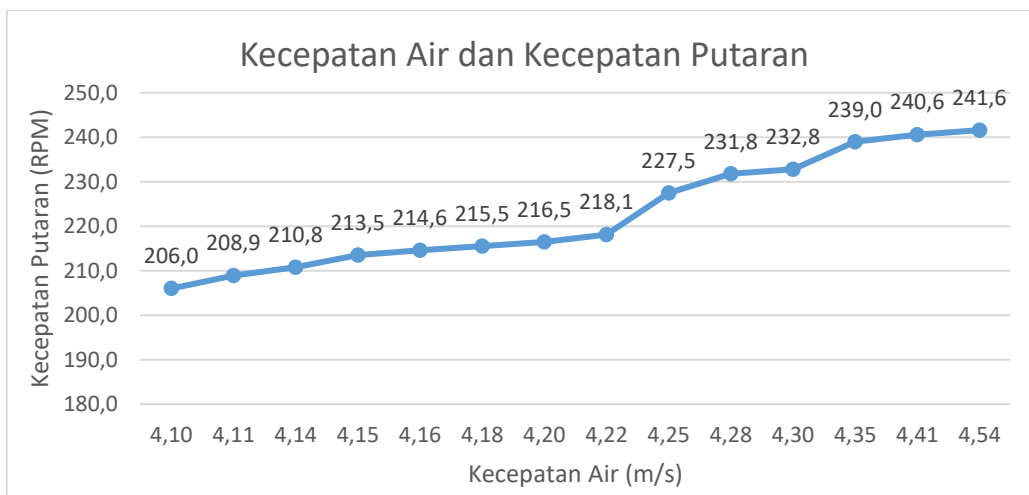
3.5.1. Hasil Pengujian Kinerja Turbin

Hasil pengujian kinerja turbin *Archimedes screw* disajikan dalam bentuk data kuantitatif yang meliputi kecepatan aliran air, debit air, dan kecepatan putaran turbin. Rekapitulasi hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kinerja Turbin

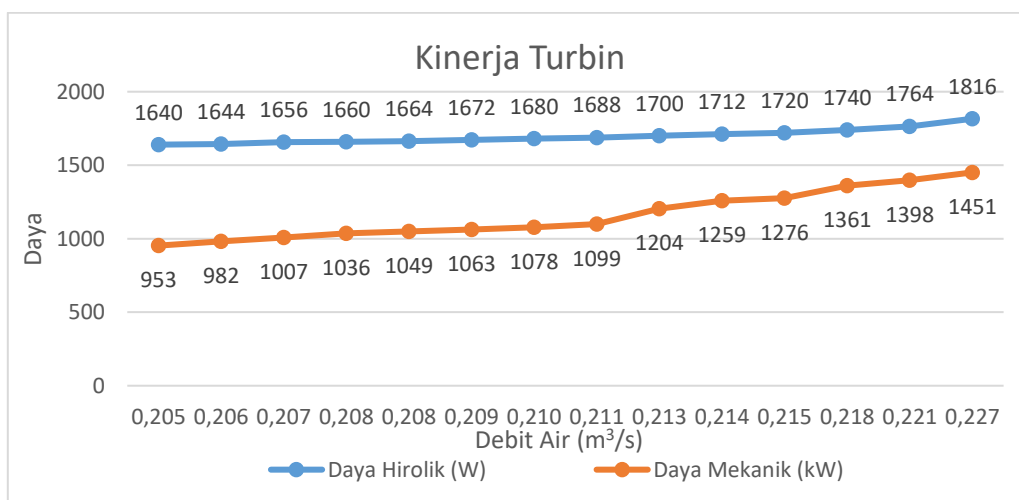
No.	Kecepatan Air (m/s)	Kecepatan Putaran (RPM)	Debit Air (m ³ /s)	Daya Hidrolik (W)	Daya Mekanik (W)	Efisiensi Turbin (%)
1.	4,16	214,6	0,208	1664	104939,64	63,06
2.	4,22	218,1	0,211	1688	109953,88	65,14
3.	4,15	213,5	0,208	1660	103616,91	62,42
4.	4,30	232,8	0,215	1720	127650,11	74,22
5.	4,20	216,5	0,210	1680	107833,05	64,19
6.	4,28	231,8	0,214	1712	125967,18	73,58
7.	4,18	215,5	0,209	1672	106330,44	63,59
8.	4,11	208,9	0,206	1644	98243,88	59,76
9.	4,10	206,0	0,205	1640	95302,67	58,11
10.	4,25	227,5	0,213	1700	120486,54	70,87
11.	4,35	239,0	0,218	1740	136104,30	78,22
12.	4,14	210,8	0,207	1656	100769,32	60,85
13.	4,54	241,6	0,227	1816	145156,51	79,93
14.	4,41	240,6	0,221	1764	139835,24	79,27
Rata-rata	4,24	222,7	0,212	1697	115870,69	68,09

Data pengujian pada Tabel 4 memperlihatkan adanya kecenderungan peningkatan kecepatan putaran turbin seiring dengan bertambahnya kecepatan aliran air. Hubungan ini mencerminkan mekanisme konversi energi kinetik aliran menjadi energi mekanik rotasi pada turbin *Archimedes screw*. Untuk memperjelas hubungan tersebut, grafik hubungan antara kecepatan aliran air dan kecepatan putaran turbin ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Pengujian Kecepatan Air dan Kecepatan Putaran Turbin

Berdasarkan Gambar 7, kecepatan putaran turbin tertinggi sebesar 241,6 RPM terjadi pada kecepatan aliran air 4,54 m/s, sedangkan kecepatan putaran terendah sebesar 206,0 RPM terjadi pada kecepatan aliran air 4,10 m/s. Tren ini menunjukkan bahwa turbin *Archimedes screw* mampu merespons perubahan kecepatan aliran secara stabil pada rentang pengujian. Selanjutnya, kinerja turbin dianalisis berdasarkan variasi debit air yang dikaitkan dengan daya hidrolik dan efisiensi turbin. Hubungan antara parameter-parameter tersebut ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Pengujian Kinerja Turbin

Berdasarkan Gambar 8, daya hidrolik meningkat seiring dengan bertambahnya debit air, yang menunjukkan peningkatan energi potensial air yang tersedia untuk dikonversi oleh turbin. Efisiensi turbin juga menunjukkan kecenderungan meningkat pada debit air yang lebih besar. Efisiensi tertinggi sebesar 79,93% diperoleh pada debit air 0,227 m^3/s , sedangkan efisiensi terendah sebesar 58,11% terjadi pada debit air 0,205 m^3/s .

Berdasarkan keseluruhan data pengujian selama dua hari, diperoleh rata-rata efisiensi turbin sebesar 68,09% pada debit rata-rata 0,212 m^3/s . Nilai efisiensi ini menunjukkan bahwa turbin *Archimedes screw* bekerja secara efektif pada kondisi *head* rendah dan debit kecil, sesuai dengan karakteristik dasar turbin tipe ulir. Variasi efisiensi yang terjadi dipengaruhi oleh fluktuasi debit air serta rugi-rugi hidraulik dan mekanik yang tidak dapat dihindari pada pengujian lapangan.

3.5.2. Hasil Pengujian Produksi Listrik

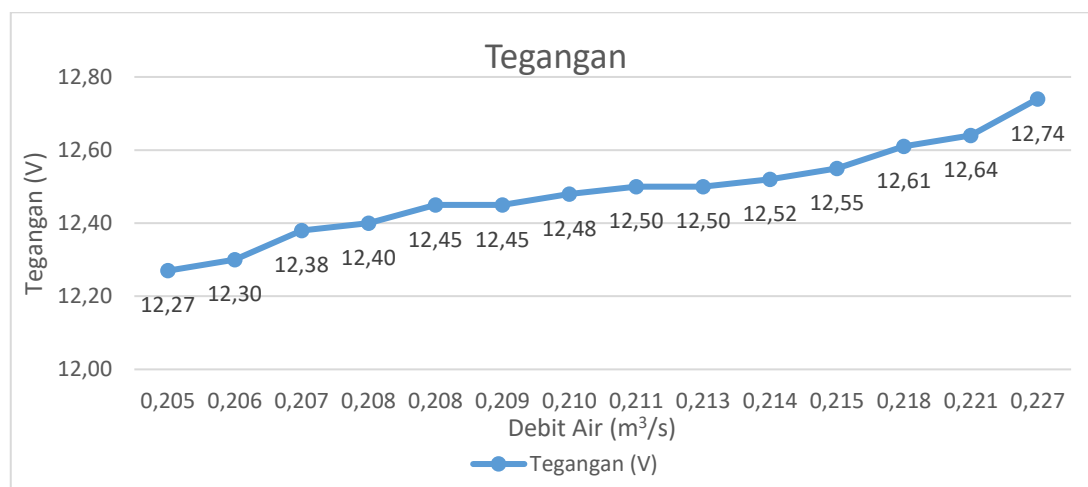
Pengujian produksi listrik dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem PLTPH berbasis turbin *Archimedes screw* dalam menghasilkan energi listrik pada kondisi operasi aktual. Parameter yang diamati meliputi tegangan keluaran generator, arus listrik, daya listrik sesaat, serta total dan rata-rata produksi listrik selama periode pengujian. Rekapitulasi hasil pengujian produksi listrik disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Produksi Listrik

No.	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Debit Air (m ³ /s)
1.	12,45	0,71	8,84	0,208
2.	12,50	0,89	11,13	0,211
3.	12,40	0,65	8,06	0,208
4.	12,55	1,01	12,68	0,215
5.	12,48	0,77	9,61	0,210
6.	12,52	0,98	12,27	0,214
7.	12,45	0,73	9,09	0,209
8.	12,30	0,49	6,03	0,206
9.	12,27	0,43	5,28	0,205
10.	12,50	0,96	12,00	0,213
11.	12,61	1,02	12,86	0,218
12.	12,38	0,58	7,18	0,207
13.	12,74	1,42	18,09	0,227
14.	12,64	1,32	16,68	0,221
Rata-rata	12,49	0,85	10,70	0,212

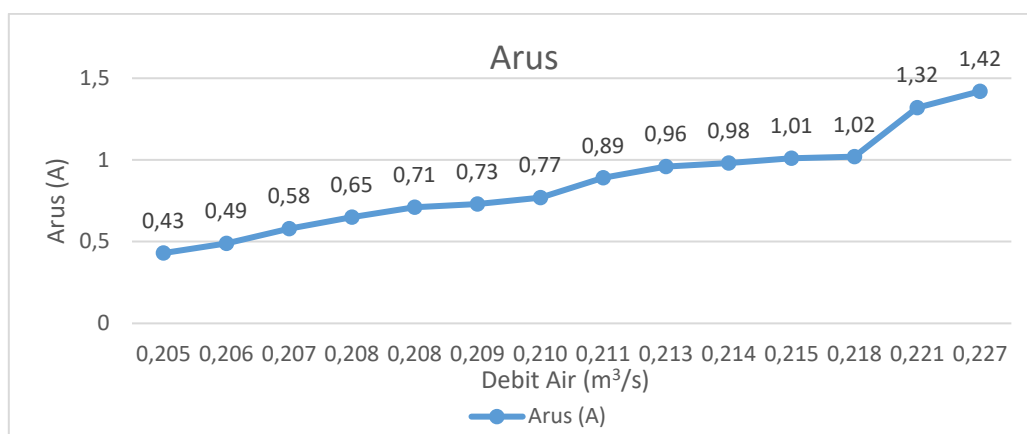
Berdasarkan Tabel 5, tegangan dan arus keluaran generator menunjukkan fluktuasi yang dipengaruhi oleh variasi kecepatan putaran turbin dan debit air. Tegangan keluaran cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan putaran turbin, yang mengindikasikan hubungan langsung antara energi mekanik turbin dan kinerja generator.

Untuk memperjelas karakteristik tegangan keluaran selama pengujian, grafik hubungan antara waktu pengujian dan tegangan listrik ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Pengujian Tegangan Keluaran

Berdasarkan Gambar 9, tegangan keluaran generator relatif stabil dengan kecenderungan meningkat pada kondisi debit air yang lebih besar. Fluktuasi kecil yang terjadi disebabkan oleh perubahan kecepatan aliran air serta variasi beban listrik selama pengujian berlangsung. Selanjutnya, karakteristik arus listrik yang dihasilkan generator ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Pengujian Arus

Hasil pengujian pada Gambar 10 menunjukkan bahwa arus listrik meningkat seiring dengan bertambahnya beban dan daya mekanik yang ditransmisikan dari turbin ke generator. Pola arus yang relatif konsisten menandakan bahwa sistem pembangkitan bekerja dalam kondisi operasi yang stabil selama periode pengujian.

Daya listrik sesaat diperoleh dari hasil pengukuran tegangan dan arus pada setiap interval pengujian. Berdasarkan perhitungan daya tersebut, total produksi listrik selama periode pengujian dihitung sebagai penjumlahan daya listrik pada setiap interval waktu. Selanjutnya, rata-rata produksi listrik diperoleh dengan membagi total produksi listrik terhadap jumlah data pengujian.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa produksi listrik tertinggi diperoleh pada kondisi debit air terbesar, yang sejalan dengan peningkatan daya mekanik turbin. Rata-rata produksi listrik yang dihasilkan selama pengujian mencerminkan kinerja sistem PLTPH yang cukup stabil dan berpotensi untuk diterapkan sebagai sumber energi listrik skala kecil pada saluran irigasi dengan karakteristik serupa.

Secara keseluruhan, hasil pengujian produksi listrik menunjukkan bahwa turbin *Archimedes screw* mampu mengonversi energi aliran air menjadi energi listrik secara berkelanjutan pada kondisi *head* rendah. Kinerja sistem pembangkitan listrik ini sangat dipengaruhi oleh kestabilan debit air, kecepatan putaran turbin, serta karakteristik generator yang digunakan.

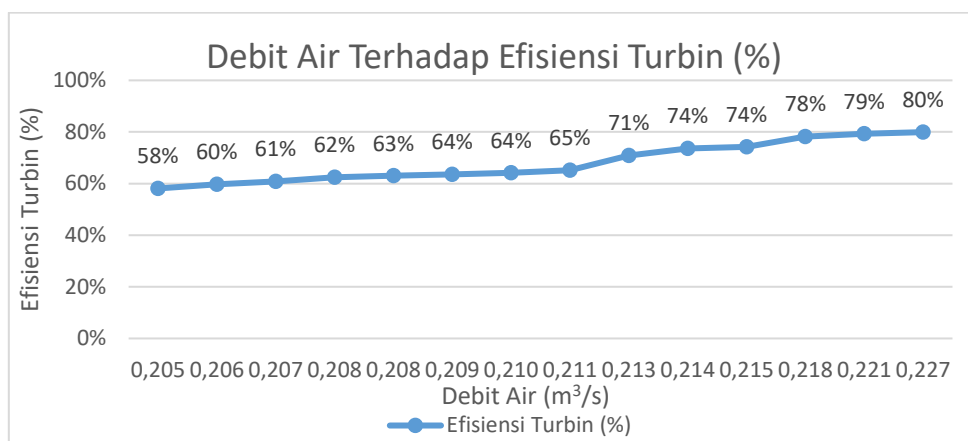
3.6. Analisis

Hubungan antarparameter yang diperoleh dari hasil pengujian memberikan dasar untuk mengevaluasi pengaruh debit air terhadap kinerja turbin dan produksi listrik secara lebih mendalam. Analisis difokuskan pada pengaruh debit air terhadap efisiensi turbin dan produksi listrik, serta keterkaitan antara efisiensi turbin dan energi listrik yang dihasilkan. Pendekatan ini digunakan untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai karakteristik kinerja turbin pada kondisi operasi aktual.

3.6.1. Analisis Debit Air Terhadap Efisiensi Turbin

Analisis hubungan antara debit air dan efisiensi turbin dilakukan untuk mengevaluasi sejauh mana variasi debit mempengaruhi kemampuan turbin *Archimedes screw* dalam mengonversi energi hidrolik menjadi energi mekanik. Efisiensi turbin dihitung berdasarkan perbandingan antara daya mekanik keluaran turbin dan daya hidrolik yang tersedia dari aliran air.

Hubungan antara debit air dan efisiensi turbin ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Hubungan Debit Air Terhadap Efisiensi Turbin

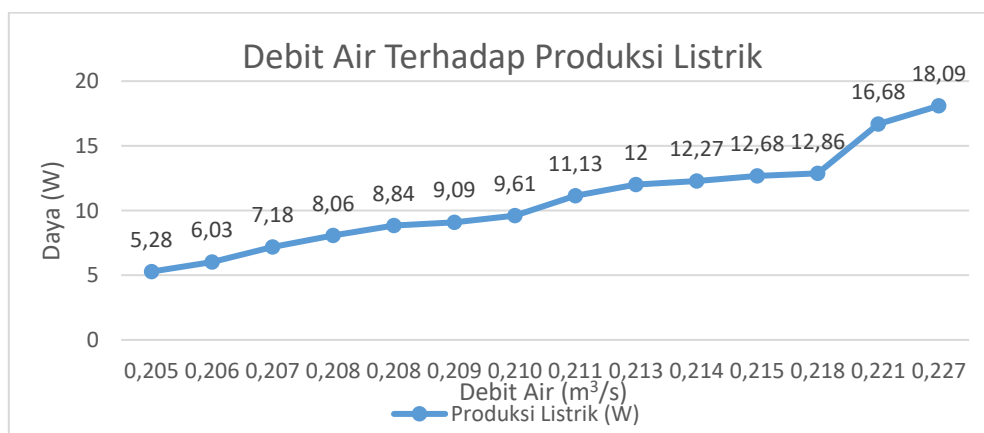
Berdasarkan Gambar 11, efisiensi turbin menunjukkan kecenderungan meningkat seiring dengan bertambahnya debit air hingga mencapai nilai tertentu. Peningkatan debit air menyebabkan gaya hidrolis yang bekerja pada bilah turbin semakin besar, sehingga torsi dan daya mekanik yang dihasilkan meningkat secara signifikan. Namun, pada debit yang mendekati batas kapasitas desain, peningkatan efisiensi mulai melambat dan cenderung stabil.

Fenomena ini sejalan dengan karakteristik turbin *Archimedes screw* yang dirancang untuk bekerja optimal pada kondisi *head* rendah dan debit tertentu. Beberapa studi internasional melaporkan bahwa efisiensi maksimum turbin *Archimedes screw* umumnya dicapai pada kisaran debit desain, sedangkan pada debit yang terlalu rendah atau terlalu tinggi terjadi penurunan efisiensi akibat rugi-rugi aliran dan ketidaksesuaian sudut serang aliran terhadap bilah turbin. Dengan demikian, hasil penelitian ini menunjukkan konsistensi dengan temuan-temuan sebelumnya terkait performa turbin *Archimedes screw* pada sistem pembangkit listrik tenaga air skala kecil.

3.6.2. Analisis Debit Air Terhadap Produksi Listrik

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh debit air terhadap besarnya energi listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTPH. Produksi listrik dipengaruhi secara langsung oleh daya mekanik turbin dan kinerja generator, yang keduanya bergantung pada besarnya debit air yang mengalir melalui turbin.

Hubungan antara debit air dan produksi listrik ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik Hubungan Debit Air Terhadap Produksi Listrik

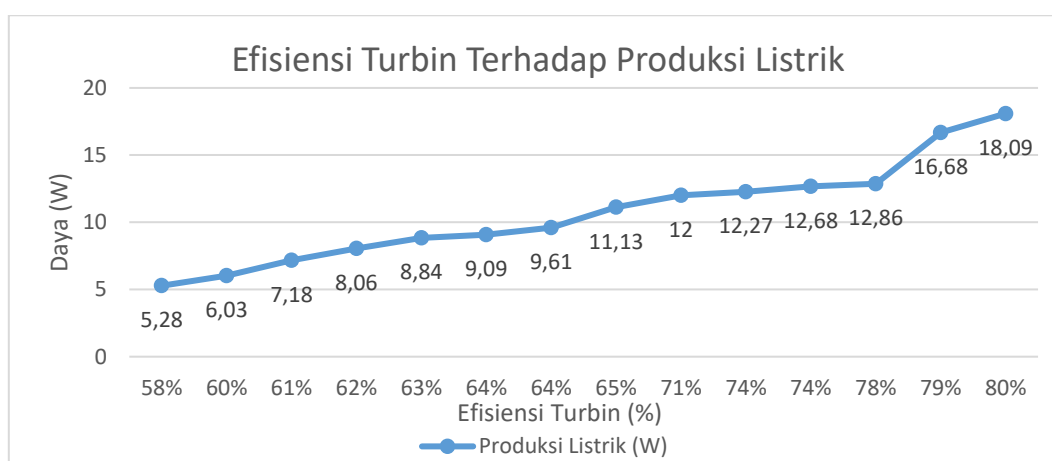
Berdasarkan Gambar 12, produksi listrik meningkat seiring dengan bertambahnya debit air. Peningkatan debit air menghasilkan daya hidrolik yang lebih besar, yang selanjutnya dikonversi menjadi daya mekanik dan diteruskan ke generator. Kondisi ini menyebabkan kenaikan tegangan, arus, dan daya listrik yang dihasilkan.

Hasil ini menunjukkan bahwa debit air merupakan parameter dominan dalam menentukan produksi listrik pada PLTPH berbasis turbin *Archimedes screw*. Tren yang diperoleh selaras dengan laporan penelitian internasional yang menyatakan bahwa pada sistem turbin screw, produksi listrik meningkat secara hampir linear terhadap debit air selama sistem beroperasi dalam rentang desainnya. Di luar rentang tersebut, peningkatan produksi listrik cenderung tidak signifikan akibat keterbatasan kapasitas mekanik dan generator.

3.6.3. Analisis Efisiensi Turbin Terhadap Produksi

Analisis hubungan antara efisiensi turbin dan produksi listrik dilakukan untuk mengevaluasi keterkaitan antara kinerja konversi energi hidrolik dan keluaran energi listrik sistem PLTPH. Efisiensi turbin merepresentasikan seberapa efektif energi air dimanfaatkan oleh turbin, sedangkan produksi listrik mencerminkan keluaran energi akhir sistem.

Hubungan antara efisiensi turbin dan produksi listrik ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik Hubungan Efisiensi Turbin Terhadap Produksi Listrik

Berdasarkan Gambar 13, produksi listrik cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya efisiensi turbin. Hal ini menunjukkan bahwa semakin efektif turbin dalam mengonversi energi hidrolik menjadi energi mekanik, semakin besar pula energi listrik yang dapat dihasilkan oleh generator.

Korelasi positif antara efisiensi turbin dan produksi listrik menegaskan bahwa optimalisasi desain dan kondisi operasi turbin *Archimedes screw* berperan penting dalam meningkatkan kinerja keseluruhan sistem PLTPH. Temuan ini sejalan dengan literatur internasional yang menyebutkan bahwa peningkatan efisiensi turbin, baik melalui optimasi geometri bilah, sudut kemiringan, maupun kecocokan debit operasi, secara langsung berdampak pada peningkatan produksi listrik pada pembangkit listrik tenaga air skala kecil.

4. Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil merancang, memodelkan, dan menguji kinerja turbin air tipe *Archimedes screw* pada sistem pembangkit listrik tenaga pikohidro dengan kondisi *head* rendah dan debit relatif kecil. Berdasarkan hasil parameter awal, pemodelan tiga dimensi, simulasi numerik, serta pengujian eksperimental, dapat disimpulkan bahwa pendekatan perancangan yang digunakan mampu merepresentasikan karakteristik kerja turbin secara fisis dan operasional. Hasil pemodelan dan simulasi menunjukkan bahwa geometri turbin yang

dirancang menghasilkan pola distribusi tekanan dan aliran fluida yang stabil sepanjang ulir turbin. Tidak ditemukan indikasi aliran balik atau konsentrasi tekanan berlebih yang berpotensi menurunkan kinerja turbin. Hal ini mengindikasikan bahwa parameter geometrik utama, seperti sudut kemiringan, pitch ulir, dan panjang turbin, telah ditentukan dalam rentang yang sesuai untuk aplikasi pikohidro pada saluran irigasi terbuka.

Pengujian eksperimental memperlihatkan adanya hubungan searah antara kecepatan aliran air, kecepatan putaran turbin, dan daya listrik yang dihasilkan. Peningkatan debit air secara langsung mempengaruhi daya hidrolik yang tersedia, yang selanjutnya tercermin pada peningkatan daya mekanik dan produksi listrik sistem. Efisiensi turbin yang diperoleh berada dalam rentang yang masih konsisten dengan karakteristik turbin *Archimedes screw* pada skala kecil, dengan mempertimbangkan adanya rugi-rugi mekanik dan ketidaksempurnaan sistem transmisi. Analisis hubungan antara debit air terhadap efisiensi dan produksi listrik menunjukkan bahwa debit air merupakan parameter dominan dalam menentukan kinerja sistem PLTPH. Namun demikian, hasil penelitian juga mengindikasikan bahwa peningkatan debit tidak selalu berbanding lurus dengan peningkatan efisiensi turbin, yang menegaskan adanya batasan kinerja yang dipengaruhi oleh desain mekanik, kondisi aliran aktual, dan karakteristik generator. Temuan ini sejalan dengan hasil-hasil penelitian terdahulu mengenai turbin *Archimedes screw* pada kondisi *head* rendah.

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kontribusi berupa pendekatan perancangan dan evaluasi kinerja turbin *Archimedes screw* yang terintegrasi antara simulasi numerik dan pengujian lapangan pada sistem pikohidro. Hasil yang diperoleh dapat menjadi referensi teknis bagi pengembangan dan penerapan PLTPH berbasis turbin *Archimedes screw* di saluran irigasi dengan karakteristik serupa, khususnya pada wilayah dengan potensi energi air skala kecil yang belum dimanfaatkan secara optimal.

5. Daftar Pustaka

- [1] I. N. Darmawan, Kholistianingsih, A. Abidin, and I. Pangestu, "Rancang Bangun Blade Turbin Angin 3 Sudut Tipe Horizontal dan Panel Surya Tipe Monocrystalline dan Polycrystalline sebagai Dasar Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH)," *J. REKAYASA ENERGI DAN Mek.*, vol. 04, no. 01, pp. 1–14, 2024.
- [2] Kholistianingsih, I. N. Darmawan, B. Dzanar, and P. Bakti, "Wave Height Monitoring and Security System on Oscillating Water Column Using ESP32 Microcontroller," *2024 12th Electr. Power, Electron. Commun. Control. Informatics Semin.*, vol. Electrical, no. C, pp. 29–36, 2024, doi: 10.1109/EECCIS62037.2024.10840039.
- [3] R. K. Karre, K. Srinivas, K. Mannan, B. Prashanth, and R. Prasad, "A Review on Hydro Power Plants and Turbines," *Int. Conf. Res. Sci. Eng. Technol.*, vol. 030048, no. May, 2022, doi: <https://doi.org/10.1063/5.0081709>.
- [4] M. S. Hadi, T. S. Wisanggeni, and D. Lestari, "Realtime Potential Energy Monitoring and Data Logging Systems on the River Flow for Micro Hydro Power Plants," *Int. Conf. Vocat. Educ. Train.*, pp. 1–6, 2020.
- [5] J. Tangko, A. Khayrunnisa, and R. Robby, "Analisis Efisiensi Turbin pada Pembangkit Listrik Tenaga Minihydro (PLTM) Malea di Kabupaten Tana Toraja," *SINERGI*, vol. 17, no. 2, pp. 117–122, 2019, doi: <http://dx.doi.org/10.31963/sinergi.v17i2.2074> Analisis.
- [6] A. Buku *et al.*, "Undershot Waterwheel Analysis Comparing Three Variations of the Laboratory Scale," *ACEIVE*, 2023, doi: 10.4108/eai.20-10-2022.2329223.
- [7] I. W. P. I. Wedanta, A. W. Wijaya, and L. Jasa, "ANALISA PENGARUH KEMIRINGAN HEAD DAN VARIASI SUDUT BLADE TURBIN ULIR TERHADAP KINERJA PLTMH," *SPEKTRUM*, vol. 8, no. 1, pp. 73–84, 2021.
- [8] 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*, 2020, doi: 10.3390/su12187352.
- [9] D. Indarto, D. A. Ramazhoni, and M. A. Bustomi, “Characteristics Analysis of Archimedes Screw Turbine Micro Hydro Power Plants with Variations in Water Discharge,” *J. Phys. Conf. Ser.*, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1805/1/012029.
 - [10] D. J. Akbar *et al.*, “PERANCANGAN TURBIN AIR ARCHIMEDES SCREW DAN GEARBOX UNTUK PEMBANGKITAN ENERGI LISTRIK,” vol. 10, pp. 90–95.
 - [11] F. Nor, E. Santoso, Z. Achmad, and I. M. Kastawan, “Pengaruh Variasi Jarak Celah Ulir dan Sudut Ulir Turbin Screw pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro,” *Elsains J. Elektro*, vol. 7, 2025, doi: 10.30996/elsains.v7i1.12975.
 - [12] N. M. Fawwaz and I. Solihat, “ANALISA DAYA PADA SIMULATOR PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) DENGAN VARIASI TURBIN ARCHIMEDES SCREW,” *J. Tek. Mesin CAKRAM*, vol. 7, no. 2, pp. 110–119, 2024.
 - [13] Sulanjari, M. M. Yamin, N. Rohmat, D. A. Setyowati, and A. Irawan, “Analisis Pengaruh Buka-an Katup terhadap Debit Air, Putaran Turbin, dan Daya Keluaran pada Turbin Archimedes Screw,” *J. Inov. ILMU Pengetah. DAN Teknol.*, vol. 6, no. 2, pp. 82–86, 2025.
 - [14] M. F. Mohedano-castillo, C. Díaz-delgado, B. M. López-rebollar, H. Salinas-tapia, A. Posadas-bejarano, and D. R. Valdez, “Micro-Hydropower Generation Using an Archimedes Screw : Parametric Performance Analysis with CFD,” *fluids*, pp. 1–30, 2025, doi: <https://doi.org/10.3390/fluids10100264>.
 - [15] B. Darmono and H. Pranoto, “Archimedes Screw Turbines (ASTs) Performance Analysis using CFD Software Based on Variation of Blades Distance and Thread Number on The Pico Hydro Powerplant,” *Int. J. Adv. Technol. Mech. Mechatronics Mater.*, vol. 03, no. 1, pp. 18–25, 2022, doi: 10.37869/ijatec.v3i1.53.
 - [16] M. Setiawan, “Rancang Bangun Turbin Archimedes Screw,” *J. Bear. BORNEO Mech. Eng. Sci.*, 2024.
 - [17] A. Maolana, L. F. Sanjaya, and A. Supriyadi, “UJI PENGARUH VARIASI SUDU TURBIN PADA SUDUT KEMIRINGAN POROS 15 DERAJAT TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI TURBIN ARCHIMEDES,” *Nozzel J. Mech. Eng.*, vol. 13, no. 1, pp. 4–7, 2024.