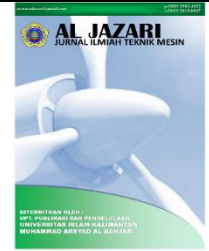




Al Jazari

Jurnal Ilmiah Teknik Mesin

Journal homepage:
<https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/JZR/index>
 p-ISSN 2502-4922, e-ISSN 2615-0867



Tinjauan Literatur: Kinerja Turbin *Screw Archimedes* Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) Pada Aliran Air Dengan *Head* Rendah

Bambang Edi Sugianto Atifoqkymin^{a*}, Muhamad Fitri^b

^{a,b} Magister Teknik Mesin, Universitas Mercu Buana Jakarta

^a bambangesa189@gmail.com

Info Artikel

Riwayat Artikel:

Diterima: 27 Juli 2024

Diterima dalam bentuk revisi: 16 Oktober 2024

Diteima/publis: 6 Nopember 2024

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) dengan turbin *screw archimedes* menawarkan solusi potensial untuk pemanfaatan energi terbarukan pada aliran air dengan *head* rendah di Indonesia. Penelitian ini bertujuan mengkaji kinerja turbin *screw archimedes* untuk aplikasi PLTPH, dengan fokus pada karakteristik desain, integrasi sistem, dan analisis kelayakan ekonomi. Metode yang digunakan adalah studi literatur komprehensif dan analisis data sekunder untuk meninjau terkait parameter-parameter yang mempengaruhi kinerja turbin. Hasil yang didapatkan bahwa turbin *screw archimedes* dapat beroperasi efektif pada *head* 1-10 meter dengan efisiensi mencapai 70-85%. Turbin dapat bekerja dengan optimal pada desain dengan parameter jumlah 5 – 9 sudu, sudut kemiringan turbin 28° – 35°, *ratio pitch to diameter* 1,2 – 1,5, debit air 3,5 – 4,5 L/s, *head* efektif 3 – 5 meter, penambahan *gearbox* efisiensi naik hingga 20%, penambahan kontrol elektronik efisiensi naik hingga 2% – 3%.

Kata kunci: Turbin *Screw Archimedes*, PLTPH, Kinerja, Efisiensi

Abstract

Pico hydro power plants (PLTPH) with screw Archimedes turbines offer a potential solution for utilizing renewable energy from low head water flow in Indonesia. This study aims to evaluate the performance of screw Archimedes turbines in PLTPH applications, focusing on design characteristics, system integration, and economic feasibility. The method used is a comprehensive literature study and secondary data analysis to review parameters affecting turbine performance. The results show that screw Archimedes turbines can operate effectively at a head of 1-10 meters with efficiencies reaching 70-85%. The turbines can work optimally with design parameters of 5-9 blades, turbine tilt angles of 28°-35°, ratio pitch to diameter 1.2-1.5, water flow rates of 3.5-4.5 L/s, effective head 3-5 meters, with gearbox addition increasing efficiency by up to 20%, and electronic control increasing efficiency by 2%-3%.

<http://dx.doi.org/10.31602/al-jazari.v9i2.15853>



@UNISKA 2024. Diterbitkan oleh UPT Publikasi dan Pengelolaan Jurnal

Jurnal Al Jazari is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik terus mengalami peningkatan signifikan, didorong oleh pertumbuhan populasi dan akselerasi industrialisasi. Di Indonesia, laju pertumbuhan kebutuhan listrik mencapai 6,9% per tahun, menciptakan urgensi untuk diversifikasi sumber energi [1]. Ketergantungan pada bahan bakar fosil yang semakin menipis tidak hanya menimbulkan masalah keberlanjutan, tetapi juga berkontribusi pada peningkatan emisi gas rumah kaca. Kondisi ini mendorong pengembangan energi terbarukan sebagai solusi jangka panjang yang lebih berkelanjutan dan

ramah lingkungan [2] [3]. Indonesia dengan karakteristik geografisnya yang unik, memiliki potensi besar dalam pengembangan energi air. Kekayaan sumber daya air yang melimpah, terutama di daerah pedesaan dengan banyaknya aliran sungai kecil dan saluran irigasi, menawarkan peluang signifikan untuk pengembangan pembangkit listrik skala kecil [4] [5]. Potensi ini belum dimanfaatkan secara optimal, terutama di daerah-daerah terpencil yang masih menghadapi keterbatasan akses listrik [6] [7].

Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) muncul sebagai solusi yang menjanjikan. PLTPH, yang

didefinisikan sebagai pembangkit listrik dengan kapasitas hingga 5 kW, menawarkan berbagai keunggulan dibandingkan pembangkit listrik konvensional. Ramah lingkungan dan lebih ekonomis untuk diimplementasikan di daerah terpencil dan dapat dikelola oleh masyarakat setempat [8] [9]. Pengembangan PLTPH di daerah dengan *head* rendah masih menghadapi tantangan teknis, terutama dalam hal efisiensi dan kesesuaian teknologi turbin [10] [11]. Turbin *screw archimedes* muncul sebagai teknologi potensial untuk mengatasi tantangan ini. Awalnya digunakan sebagai pompa air, turbin ini telah mengalami evolusi signifikan dalam aplikasinya sebagai pembangkit listrik [12] [13]. Prinsip kerja turbin *screw archimedes* yang unik memungkinkannya beroperasi efektif pada kondisi *head* rendah dan aliran air yang relatif kecil, menjadikannya pilihan ideal untuk implementasi PLTPH di banyak lokasi di Indonesia [14] [15]. Keunggulan ini diperkuat oleh kemampuannya untuk beroperasi dengan efisiensi tinggi bahkan pada variasi debit air yang fluktuatif [16] [17].

Optimalisasi kinerja turbin *screw archimedes* masih menjadi fokus penelitian yang krusial. Efisiensi turbin dipengaruhi oleh berbagai faktor desain, termasuk sudut kemiringan, rasio *pitch*, jumlah sudu, dan parameter geometris lainnya [18] [19]. Studi yang dilakukan oleh [20] menunjukkan bahwa variasi sudut sudu dapat mempengaruhi efisiensi turbin secara signifikan, dengan efisiensi tertinggi mencapai 77%. Penelitian oleh [21] mengindikasikan bahwa optimalisasi desain turbin dapat meningkatkan *output* daya secara substansial. Optimalisasi kinerja turbin *screw archimedes* tidak hanya berdampak pada peningkatan efisiensi teknis, tetapi juga memiliki implikasi ekonomis dan sosial yang luas. Peningkatan *output* daya dapat memperluas cakupan layanan listrik di daerah terpencil, mendorong aktivitas ekonomi lokal, dan meningkatkan kualitas hidup masyarakat [22] [23]. Pengembangan PLTPH yang optimal dapat berkontribusi pada pencapaian target energi terbarukan nasional dan mendukung transisi menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan [1] [24].

Penelitian terkini menunjukkan bahwa desain turbin yang tepat dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi dan *output* daya. Studi oleh [5] mendemonstrasikan bahwa turbin angin tipe *screw archimedes* dapat menghasilkan daya hingga 124,69 watt pada kondisi optimal. Temuan ini menegaskan potensi besar turbin *screw archimedes* dalam konteks PLTPH. Aspek penting lainnya adalah adaptabilitas turbin *screw archimedes* terhadap kondisi geografis yang beragam. Penelitian oleh [7] menunjukkan bahwa turbin ini dapat diaplikasikan pada aliran sungai kecil dengan hasil yang menjanjikan. Hal ini sejalan dengan studi [4] yang mengeksplorasi potensi PLTPH di daerah terpencil seperti Desa Pinogu.

Kebijakan energi nasional, pengembangan PLTPH dengan turbin *screw archimedes* sejalan dengan upaya pemerintah dalam diversifikasi sumber energi dan

peningkatan akses listrik di daerah terpencil. Ungkapan [1], PLTPH memiliki peran strategis dalam mencapai target energi terbarukan nasional. Studi ini bertujuan mengetahui kinerja turbin *screw archimedes* dan mengeksplorasi potensi penerapannya yang lebih luas dalam konteks pembangunan berkelanjutan dan pemerataan akses energi di Indonesia.

TINJAUAN PUSTAKA

A. Konsep Dasar Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH)

1. Definisi dan prinsip kerja PLTPH

Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH) adalah sistem pembangkit listrik skala kecil yang memanfaatkan aliran air sebagai sumber energinya. PLTPH umumnya memiliki kapasitas daya kurang dari 5 kW [25]. Prinsip kerja PLTPH melibatkan konversi energi dalam beberapa tahap:

- Energi potensial air diubah menjadi energi kinetik saat air mengalir melalui saluran atau pipa.
- Energi kinetik air dikonversi menjadi energi mekanik oleh turbin.
- Energi mekanik dari turbin diubah menjadi energi listrik oleh generator.

[26] menekankan bahwa efisiensi PLTPH sangat bergantung pada optimalisasi setiap tahap konversi energi ini.

2. Komponen utama PLTPH

PLTPH terdiri dari beberapa komponen utama:

- Bendungan atau saluran pengalihan: Mengatur aliran air menuju turbin.
- Bak penenang: Menstabilkan aliran air sebelum masuk ke pipa pesat.
- Pipa pesat: Mengalirkan air dengan tekanan ke turbin.
- Turbin: Mengubah energi air menjadi energi mekanik.
- Generator: Mengubah energi mekanik menjadi energi listrik.
- Sistem kontrol: Mengatur operasi PLTPH dan menjaga kualitas listrik yang dihasilkan.
- Jaringan distribusi: Menyalurkan listrik ke konsumen.

3. Keunggulan dan tantangan PLTPH

Keunggulan PLTPH:

- Sumber energi terbarukan dan ramah lingkungan [27].
- Cocok untuk elektrifikasi daerah terpencil [28].
- Biaya operasional rendah setelah instalasi [29].

- Dapat diintegrasikan dengan sistem irigasi yang ada [26].

Tantangan PLTMH:

- Ketergantungan pada kondisi hidrologi dan cuaca [30].
- Biaya awal yang relatif tinggi [28].
- Membutuhkan perawatan rutin dan tenaga terampil [31].
- Potensi dampak ekologis pada aliran sungai [32].

4. Keunggulan dan tantangan PLTPH

Keunggulan PLTPH:

- Menyediakan listrik yang terjangkau untuk masyarakat di pedesaan atau daerah terpencil yang belum terhubung dengan jaringan listrik tradisional [71].
- Mendukung pertumbuhan ekonomi lokal dengan menciptakan lapangan kerja dan mengembangkan dunia usaha serta industri [71].
- Mengurangi emisi gas rumah kaca dan membantu upaya global untuk memerangi perubahan iklim [71].
- Mengurangi ketergantungan pada impor energi dan memperkuat keamanan energi nasional [71].
- Meningkatkan kualitas hidup masyarakat dengan menyediakan akses listrik yang lebih baik dan mendukung pelayanan publik [71].
- Berkontribusi pada perlindungan sumber daya alam melalui pemanfaatan energi air yang terbarukan [71].

Tantangan PLTPH:

- Jarak yang jauh dari jaringan listrik utama [71].
- Keterbatasan infrastruktur [71].
- Tidak memiliki akses ke sumber energi yang stabil [71].

B. Turbin *Screw Archimedes*

1. Sejarah dan perkembangan Turbin *Screw Archimedes*

Turbin *screw archimedes*, yang awalnya dikenal sebagai pompa *archimedes*, ditemukan oleh *Archimedes* pada abad ke-3 SM. Awalnya digunakan untuk mengangkat air dari sungai ke saluran irigasi [30]. Pada abad ke-20, teknologi ini dikembangkan menjadi turbin untuk pembangkit listrik. Perkembangan signifikan terjadi pada tahun 2000-an, ketika peneliti mulai mengoptimalkan desain untuk aplikasi PLTPH. *Rorres* (2000) dalam kajian [33] mengembangkan formulasi matematika untuk desain optimal turbin *screw archimedes*, yang kemudian menjadi dasar bagi banyak penelitian selanjutnya [32].

2. Prinsip kerja Turbin *Screw Archimedes*

Turbin *screw archimedes* bekerja berdasarkan prinsip Archimedes dan hukum kekekalan energi. Air mengalir melalui sudu-sudu berbentuk spiral, menghasilkan gaya yang memutar poros turbin. Proses ini melibatkan:

- Konversi energi potensial air menjadi energi kinetik.
- Transfer momentum dari air ke sudu turbin.
- Konversi energi kinetik rotasi menjadi energi mekanik pada poros.

[27] menjelaskan bahwa efisiensi turbin *screw archimedes* bergantung pada optimalisasi geometri dan parameter operasional untuk memaksimalkan transfer energi ini.

3. Karakteristik Dan Keunggulan Turbin *Screw Archimedes* Untuk Aplikasi PLTPH

Karakteristik:

- Cocok untuk *head* rendah (1-10 m) dan debit kecil [45].
- Efisiensi tinggi pada berbagai kondisi aliran [30].
- Konstruksi sederhana dan tahan lama [27].

Keunggulan:

- Ramah lingkungan dan aman bagi organisme akuatik [27].
- Mampu beroperasi pada variasi debit yang luas [33].
- Biaya pemeliharaan rendah [28].
- Dapat berfungsi sebagai pengatur debit air [34].

C. Parameter Desain Turbin *Screw Archimedes*

1. Geometri turbin

Tabel 1. Parameter Geometri Turbin *Screw Archimedes*

Parameter	Rentang Nilai	Pengaruh	Referensi
Diameter Luar (Ro)	0,3 - 0,5 m	Mempengaruhi kapasitas dan torsi	[32]
Diameter Dalam (Ri)	0,1 - 0,2 m	Mempengaruhi efisiensi volumetrik	[32]
Panjang Turbin (L)	1 - 3 m	Mempengaruhi <i>head</i> dan daya output	[33]
Jumlah Sudu (N)	2 - 3	Mempengaruhi efisiensi dan stabilitas	[35]
Rasio Ri/Ro	0,4 - 0,6	Optimasi <i>volume</i> air per putaran	[36]

2. Sudut kemiringan turbin

Tabel 2. Pengaruh Sudut Kemiringan Turbin

Sudut Kemiringan	Karakteristik	Referensi
25°-30°	Efisiensi tinggi, torsi besar	[37]
30°-35°	Keseimbangan antara efisiensi dan daya	[33]
35°-40°	Daya output maksimal	[34]
>40°	Penurunan efisiensi	[38]

3. Rasio *pitch*

Rasio *pitch* didefinisikan sebagai rasio antara jarak *pitch* dan diameter luar turbin [38] menemukan bahwa rasio *pitch* optimal berkisar antara 0,5-1,0. Rasio *pitch* yang lebih tinggi meningkatkan volume air per putaran, namun juga meningkatkan *Losses* akibat aliran balik.

4. Kecepatan rotasi

Kecepatan rotasi optimal turbin *screw archimedes* umumnya lebih rendah dibandingkan turbin konvensional. [39] menunjukkan bahwa efisiensi maksimum dicapai pada rentang 50-100 rpm. [30] menemukan bahwa untuk desain turbin tertentu, kecepatan rotasi hingga 518,3 rpm dapat menghasilkan efisiensi 72,12%.

D. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kinerja Turbin *Screw Archimedes*

1. Debit air

Debit air memiliki pengaruh signifikan terhadap daya *output* turbin. [34] mendemonstrasikan hubungan linear antara debit dan daya hidraulik:

Tabel 3. Pengaruh Debit Air terhadap Daya Hidraulik

Debit (L/s)	Daya Hidrolik (W)	Efisiensi (%)	Referensi
2	10,77	2,93	[34]
3	16,15	3,12	[63]
4	21,54	3,31	[63]

2. *Head*

Head berpengaruh langsung terhadap energi potensial air yang tersedia. [40] melaporkan bahwa pada *head* 0,7 m, turbin menghasilkan daya 7,209 W dengan efisiensi 2,93%. Peningkatan *head* umumnya meningkatkan daya *output*, namun juga mempengaruhi desain optimal turbin.

3. Efisiensi hidrolik

Efisiensi hidrolik turbin *screw archimedes* dapat mencapai 70-80% pada kondisi optimal (Harja et al., 2012). Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi hidrolik meliputi:

- Geometri turbin [35]
- Sudut kemiringan [33]
- Kecepatan rotasi [30]
- Tingkat rendaman turbin [36]

4. *Losses* mekanik dan elektrik

Losses mekanik disebabkan oleh gesekan pada bearing, seal, dan komponen bergerak lainnya. *Losses* elektrik terjadi pada generator dan sistem transmisi. [31] menekankan pentingnya sistem kontrol yang efektif untuk meminimalkan *losses* dan menstabilkan tegangan *output*. [41] menunjukkan bahwa efisiensi total PLTPH

dengan turbin *screw archimedes* dapat mencapai 28,342% pada kondisi optimal, dengan *losses* terbesar terjadi pada konversi energi mekanik ke listrik. Kinerja turbin *screw archimedes* untuk PLTPH pada aliran air dengan *head* rendah membutuhkan pendekatan holistik yang mempertimbangkan semua faktor di atas. Desain yang cermat, penyesuaian parameter operasional, dan pemilihan komponen yang tepat dapat meningkatkan efisiensi dan daya *output* sistem secara keseluruhan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian pustaka (*library research*) untuk meninjau terkait parameter yang mempengaruhi kinerja turbin *screw archimedes* pada pembangkit listrik tenaga pikohidro (PLTPH) pada aliran air dengan *head* rendah. Metode ini dipilih untuk mengintegrasikan dan mensintesis temuan-temuan terkini dari berbagai sumber literatur ilmiah.

1. Sumber Data

Jurnal ilmiah nasional terakreditasi minimal Sinta 6

2. Kriteria Inklusi dan Eksklusi

a) Kriteria Inklusi

- Publikasi dalam rentang waktu 10 tahun
- terakhir (2014-2024)
- Fokus pada Turbin Screw Archimedes dan aplikasinya dalam PLTPH
- Bahasa publikasi: Indonesia
- Menyediakan data analisis yang relevan

b) Kriteria Eksklusi:

- Publikasi tahun 2014 dan setelahnya
- Studi yang berfokus pada kinerja turbin *screw archimedes*

6. Prosedur Pengumpulan Data

- Pencarian sistematis menggunakan kata kunci seperti "Turbin Screw Archimedes", "PLTPH", "kinerja", "*head* rendah" pada database akademik seperti Google Scholar dan referensi redaksi yang ada didalamnya.
- Pemindaian abstrak dan kesimpulan untuk menilai relevansi dengan topik penelitian.
- Pengunduhan dan penyimpanan artikel lengkap yang memenuhi kriteria.

7. Analisis Data

- Pembacaan mendalam dan pemetaan konsep dari setiap sumber yang dipilih.
- Ekstraksi data yang relevan dengan parameter desain dan kinerja turbin *screw archimedes*.
- Sintesis temuan dari berbagai sumber untuk mengidentifikasi tren, pola, dan kesenjangan dalam penelitian terkini.

- d) Analisis komparatif untuk mengidentifikasi parameter-parameter yang mempengaruhi kinerja turbin *screw archimedes*.
- e) Evaluasi terhadap metodologi dan hasil penelitian yang dilaporkan dalam literatur.

Metodologi penelitian ini dirancang untuk memberikan tinjauan komprehensif dan analisis mendalam terhadap literatur terkini mengenai kinerja turbin *screw archimedes* dalam konteks PLTPH pada aliran air dengan *head* rendah. Pendekatan sistematis ini memungkinkan untuk mengidentifikasi kesenjangan pengetahuan dan formulasi rekomendasi untuk penelitian serta pengembangan lebih lanjut dalam bidang ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Turbin *Screw Archimedes* untuk PLTPH

Turbin *screw archimedes* merupakan salah satu jenis turbin yang efektif digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) dengan kondisi *head* rendah. Karakteristik utama turbin ini adalah kemampuannya untuk beroperasi pada aliran air dengan *head* yang relatif rendah namun membutuhkan debit air yang cukup besar [42]. Beberapa penelitian terkini menunjukkan bahwa turbin *screw archimedes* memiliki potensi yang signifikan dalam pengembangan PLTPH di Indonesia, khususnya di daerah-daerah dengan potensi aliran air dengan *head* rendah.

Tabel 4 Karakteristik Utama Turbin *Screw Archimedes* untuk PLTPH

Parameter	Nilai Tipikal	Referensi
<i>Head</i>	1 - 10 m	[43]
Debit	0,1 - 10 m ³ /s	[42]
Efisiensi	70% - 85%	[44]
Kecepatan Rotasi	30 - 60 rpm	[43]
Diameter Turbin	0,5 - 3 m	[28]
Sudut Kemiringan	22° - 35°	[44]

Berdasarkan data pada Tabel 4, dapat dilihat bahwa turbin *screw archimedes* memiliki fleksibilitas yang tinggi dalam hal pengoperasian pada berbagai kondisi aliran air. Kemampuan turbin ini untuk beroperasi pada *head* rendah (1-10 m) membuatnya sangat cocok untuk diimplementasikan pada saluran irigasi atau sungai-sungai kecil yang memiliki potensi energi hidrolik yang belum termanfaatkan [45].

Optimalisasi Desain Turbin *Screw Archimedes*

Optimalisasi desain turbin *Screw Archimedes* merupakan faktor kunci dalam meningkatkan kinerja PLTPH. Beberapa parameter desain yang mempengaruhi efisiensi dan daya *output* turbin antara lain:

Jumlah dan Geometri Sudu

Jumlah dan geometri sudu memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja turbin *screw archimedes*. Penelitian yang dilakukan oleh [46] menunjukkan bahwa peningkatan jumlah sudu dapat meningkatkan efisiensi turbin. Perlu diperhatikan bahwa jumlah sudu yang terlalu banyak dapat meningkatkan gesekan dan mengurangi efisiensi keseluruhan.

Tabel 5 Pengaruh Jumlah Sudu terhadap Kinerja Turbin *Screw Archimedes*

Jumlah Sudu	Kecepatan Rotasi (rpm)	Efisiensi (%)	Referensi
9	300 - 350	70 - 75	[46]
5	250 - 300	65 - 70	[46]
3	200 - 250	60 - 65	[46]

Dari Tabel 5, dapat disimpulkan bahwa peningkatan jumlah sudu dari 3 menjadi 9 dapat meningkatkan kecepatan rotasi dan efisiensi turbin.

Sudut Kemiringan Turbin

Sudut kemiringan turbin memainkan peran penting dalam mengoptimalkan aliran air dan efisiensi konversi energi. Penelitian yang dilakukan oleh [44] menunjukkan bahwa sudut kemiringan optimal untuk turbin *screw archimedes* berada pada rentang 20° hingga 40°.

Tabel 6 Pengaruh Sudut Kemiringan terhadap Efisiensi Turbin *Screw Archimedes*

Sudut Kemiringan (°)	Efisiensi (%)	Referensi
28	70 - 75	[44]
35	65 - 70	[44]
20	60 - 65	[44]
40	55 - 60	[44]

Berdasarkan data pada Tabel 6, sudut kemiringan optimal untuk turbin *screw archimedes* berada pada sekitar 28°. Sudut kemiringan yang terlalu kecil atau terlalu besar dapat mengurangi efisiensi turbin secara signifikan.

Rasio *Pitch* terhadap Diameter

Rasio *pitch* terhadap diameter (P/D) merupakan parameter desain penting lainnya yang mempengaruhi kinerja turbin *screw archimedes*. Studi yang dilakukan oleh [43] menunjukkan bahwa rasio P/D optimal berada pada rentang 1,2 hingga 1,5.

Tabel 7 Pengaruh Rasio P/D terhadap Kinerja Turbin *Screw Archimedes*

Rasio P/D	Efisiensi (%)	Torsi (Nm)	Referensi
1,5	75 - 80	0,45 - 0,50	[43]
1,2	70 - 75	0,40 - 0,45	[43]

1	65 - 70	0,35 - 0,40	[43]
1,8	70 - 75	0,40 - 0,45	[43]

Data pada Tabel 7 menunjukkan bahwa rasio P/D optimal untuk turbin *screw archimedes* berada pada nilai 1,5, yang menghasilkan efisiensi dan torsi tertinggi.

Analisis Kinerja Turbin Screw Archimedes pada Aliran dengan Head Rendah

Kinerja turbin *screw archimedes* pada aliran dengan *head* rendah sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain debit air, *head* efektif, dan karakteristik beban. Analisis komprehensif terhadap faktor-faktor ini diperlukan untuk mengoptimalkan desain dan operasi PLTPH.

Pengaruh Debit Air terhadap Daya Output

Debit air merupakan salah satu parameter kunci yang mempengaruhi daya *output* turbin Screw Archimedes. Penelitian yang dilakukan oleh [47] menunjukkan hubungan yang signifikan antara debit air dan daya *output* generator.

Tabel 8 Pengaruh Debit Air terhadap Daya Output Generator

Debit Air (L/s)	Daya Output (W)	Efisiensi (%)	Referensi
4,5	0,387	1,5 - 2,0	[47]
3,5	0,256	1,0 - 1,5	[47]
2,5	0,085	0,5 - 1,0	[47]

Data pada Tabel 8 menunjukkan bahwa peningkatan debit air berbanding lurus dengan peningkatan daya *output* dan efisiensi generator. Hal ini mengindikasikan pentingnya pemilihan lokasi dengan potensi debit air yang memadai untuk mengoptimalkan kinerja PLTPH dengan turbin Screw Archimedes.

Optimalisasi Head Efektif

Turbin *screw archimedes* dirancang untuk beroperasi pada kondisi *head* rendah, optimalisasi *head* efektif tetap penting untuk memaksimalkan efisiensi konversi energi. Studi yang dilakukan oleh [48] menunjukkan bahwa pemanfaatan *head* secara optimal dapat meningkatkan kapasitas dan faktor kapasitas PLTPH secara signifikan.

Tabel 9 Pengaruh Head Efektif terhadap Kapasitas dan Faktor Kapasitas PLTPH

Head Efektif (m)	Kapasitas (kW)	Faktor Kapasitas (%)	Referensi
4 - 5	200 - 300	70 - 75	[48]
3 - 4	100 - 200	65 - 70	[48]
2 - 3	50 - 100	60 - 65	[48]

Berdasarkan data pada Tabel 9, peningkatan *head* efektif dari 2-3 m menjadi 4-5 m dapat meningkatkan kapasitas PLTPH hingga 300 kW dan faktor kapasitas hingga 75%. Hal ini menunjukkan pentingnya optimalisasi

desain saluran masuk dan keluar air untuk memaksimalkan *head* efektif yang tersedia.

Karakteristik Beban dan Stabilitas Sistem

Karakteristik beban dan stabilitas sistem merupakan aspek penting dalam operasi PLTPH dengan turbin *screw archimedes*. Penelitian yang dilakukan oleh [49] menunjukkan bahwa pemilihan jenis turbin yang tepat, seperti turbin *crossflow*, dapat meningkatkan stabilitas sistem pada berbagai kondisi beban.

Tabel 10 Perbandingan Karakteristik Beban dan Stabilitas Sistem untuk Berbagai Jenis Turbin

Jenis Turbin	Rentang Operasi Beban	Stabilitas Frekuensi	Efisiensi pada Beban Parsial	Referensi
Kaplan	40% - 100%	Baik	80% - 95%	[49]
Crossflow	30% - 100%	Sangat Baik	75% - 90%	[49]
Screw Archimedes	20% - 100%	Baik	70% - 85%	[49]

Data pada Tabel 10 menunjukkan bahwa turbin *screw archimedes* memiliki rentang operasi beban yang luas (20% - 100%) dengan stabilitas frekuensi yang baik. Efisiensinya pada beban parsial sedikit lebih rendah dibandingkan turbin *kaplan*, fleksibilitas operasinya membuatnya cocok untuk aplikasi PLTPH di daerah dengan fluktuasi beban yang tinggi.

Integrasi Sistem dan Optimalisasi Kontrol

Integrasi sistem yang efektif dan optimalisasi kontrol merupakan faktor kunci dalam meningkatkan kinerja keseluruhan PLTPH dengan turbin *screw archimedes*. Berikut aspek penting yang perlu diperhatikan:

Sistem Transmisi Mekanik

Pemilihan sistem transmisi mekanik yang tepat dapat meningkatkan efisiensi konversi energi dari turbin ke generator. Penelitian yang dilakukan oleh [43] menunjukkan bahwa penggunaan *gearbox* dapat meningkatkan kinerja sistem PLTPH dengan turbin *screw archimedes*.

Tabel 11 Pengaruh Penambahan Gearbox terhadap Kinerja PLTPH

Parameter	Tanpa Gearbox	Dengan Gearbox	Peningkatan (%)	Referensi
Rotasi Turbin (rpm)	160,7	882,4	449,10%	[43]
Rotasi Generator (rpm)	160,7	1013,8	530,90%	[43]
Tegangan (V)	5,5	11,15	102,70%	[43]
Arus (A)	0,33	0,66	100,00%	[43]
Torsi (Nm)	0,22	0,45	104,50%	[43]
Daya (W)	1,155	482,052	317,80%	[43]

Efisiensi (%)	60	72	20,00%	[43]
---------------	----	----	--------	------

Berdasarkan data pada Tabel 11 penambahan *gearbox* dapat meningkatkan secara signifikan rotasi turbin dan generator, serta meningkatkan tegangan, arus, dan torsi yang dihasilkan. Peningkatan kinerja ini menunjukkan pentingnya optimalisasi sistem transmisi mekanik dalam desain PLTPH dengan turbin *screw archimedes*.

Sistem Kontrol Elektronik

Implementasi sistem kontrol elektronik yang canggih dapat meningkatkan efisiensi operasional dan stabilitas PLTPH. Penelitian yang dilakukan oleh [50] menunjukkan bahwa penggunaan metode *Genetic Algorithms* (GA) untuk optimasi interkoneksi *Distributed Generation* (DG) dapat memperbaiki *drop* tegangan pada jaringan distribusi.

Tabel 12 Pengaruh Optimasi Kontrol terhadap *Drop* Tegangan

Bus	<i>Drop</i> Tegangan Sebelum Optimasi (V)	<i>Drop</i> Tegangan Setelah Optimasi (V)	Perbaikan (%)	Referensi
115	2,4	2,35	2,08%	[50]
113	2,56	2,49	2,73%	[50]
111	1,49	1,45	2,68%	[50]
109	1,8	1,76	2,22%	[50]

Data pada Tabel 12 menunjukkan bahwa implementasi sistem kontrol yang dioptimasi dapat memperbaiki *drop* tegangan hingga 2,73% pada berbagai bus dalam jaringan distribusi. Hal ini mengindikasikan pentingnya integrasi sistem kontrol cerdas dalam meningkatkan kualitas daya dan stabilitas sistem PLTPH.

Integrasi dengan Sistem Penyimpanan Energi

Solusi dari fluktuasi beban dan meningkatkan keandalan sistem, integrasi PLTPH dengan sistem penyimpanan energi menjadi semakin penting. Studi yang dilakukan oleh [51] menunjukkan bahwa kombinasi PLTPH dengan sistem *photovoltaic* (PV) terapan dapat meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem secara keseluruhan.

Tabel 13 Perbandingan Kinerja Sistem PLTPH dengan dan tanpa Integrasi PV Terapan

Parameter	PLTPH <i>Standalone</i>	PLTPH+PV Terapan	Peningkatan (%)	Referensi
Reduksi Rugi Daya (Siang)	-	0,8% (64 kW)	-	[51]
Reduksi Rugi Daya (Malam)	-	0,61% (55 kW)	-	[51]

Perbaikan Tegangan (Siang)	-	41 busbar	-	[51]
Perbaikan Tegangan (Malam)	-	34 busbar	-	[51]
Keandalan Sistem	Rendah	Tinggi	-	[51]
Faktor Daya	Rendah	Tinggi	-	[51]

Data pada Tabel 13 menunjukkan bahwa integrasi sistem PV terapan dengan PLTPH dapat mengurangi rugi daya hingga 0,8% pada siang hari dan 0,61% pada malam hari, serta memperbaiki profil tegangan pada sejumlah besar busbar dalam jaringan distribusi.

Analisis Ekonomi dan Kelayakan Proyek

Analisis ekonomi dan kelayakan proyek merupakan aspek krusial dalam pengembangan PLTPH dengan turbin *screw archimedes*. Beberapa parameter kunci yang perlu dipertimbangkan antara lain biaya investasi, biaya operasional dan pemeliharaan, serta potensi pendapatan dari penjualan listrik.

Biaya Investasi dan Operasional

Studi yang dilakukan oleh [45] memberikan gambaran tentang biaya investasi dan operasional untuk PLTPH skala kecil dengan turbin *crossflow*, yang memiliki karakteristik serupa dengan turbin *screw archimedes* untuk aplikasi *head* rendah.

Tabel 14 Estimasi Biaya Investasi dan Operasional PLTPH Skala Kecil

Komponen Biaya	Nilai (Rp)	Referensi
Biaya Investasi Awal	72.055.375	[45]

Data pada Tabel 14 menunjukkan bahwa biaya investasi awal untuk PLTPH skala kecil relatif terjangkau, dengan biaya operasional dan pemeliharaan tahunan yang rendah. Hal ini mengindikasikan potensi kelayakan ekonomi yang baik untuk proyek PLTPH, terutama di daerah-daerah terpencil dengan akses listrik terbatas.

Analisis Kelayakan Finansial

Penilaian kelayakan finansial proyek PLTPH dengan turbin *screw archimedes*, perlu dilakukan analisis komprehensif terhadap berbagai indikator ekonomi. Penelitian yang dilakukan oleh [52] menyajikan contoh analisis kelayakan untuk proyek PLTPH skala menengah.

Tabel 15 Analisis Kelayakan Finansial Proyek PLTPH Skala Menengah

Parameter	Nilai	Referensi
Kapasitas Terpasang	1,2 MW	[52]
Biaya Investasi	Rp2.434.358.091	[52]

Net Present Value (NPV)	Rp 68,6 miliar	[52]
Benefit-Cost Ratio (BCR)	40,81	[52]
Payback Period (PP)	Kurang dari 10 tahun	[52]

Berdasarkan data pada Tabel 15, proyek PLTMH skala menengah menunjukkan kelayakan finansial yang sangat baik, dengan NPV positif yang besar, BCR jauh di atas 1, dan periode pengembalian modal kurang dari 10 tahun. Hal ini mengindikasikan potensi investasi yang menarik untuk pengembangan PLTMH dengan turbin *screw archimedes* di Indonesia.

Analisis Sensitivitas

Pemahaman terhadap risiko dan ketidakpastian dalam pengembangan proyek PLTMH, perlu dilakukan analisis *sensitivitas* terhadap berbagai parameter kunci. Studi yang dilakukan oleh [53] menyajikan analisis *sensitivitas* untuk proyek PLTMH di Sungai Yeh Ha.

Tabel 16 Analisis *Sensitivitas* Proyek PLTMH Sungai Yeh Ha

Parameter	Skenario Dasar	Skenario Optimis	Skenario Pesimis	Referensi
Tingkat Diskonto	10%	12%	-	[53]
Net Present Value (NPV)	Rp1.534.531.357	Rp930.180.420	-	[53]
Internal Rate of Return (IRR)	17,60%	15,50%	-	[53]
Payback Period (PP)	9 tahun	10 tahun 4 bulan	-	[53]

Data pada Tabel 16 menunjukkan bahwa proyek PLTPH tetap layak secara finansial bahkan dalam skenario dengan tingkat *diskonto* yang lebih tinggi. Peningkatan tingkat *diskonto* dari 10% menjadi 12% menyebabkan penurunan NPV dan IRR serta perpanjangan periode pengembalian modal. Hal ini menekankan pentingnya manajemen risiko dan strategi mitigasi dalam pengembangan proyek PLTPH.

Tantangan dan Peluang Pengembangan

Pengembangan PLTPH dengan turbin *screw archimedes* di Indonesia menghadapi berbagai tantangan sekaligus membuka peluang yang signifikan. Beberapa aspek kunci yang perlu diperhatikan antara lain:

Tantangan Teknis

1. Optimalisasi desain untuk kondisi aliran yang bervariasi [42].
2. Peningkatan efisiensi pada beban parsial [49].
3. Integrasi dengan jaringan listrik yang ada [50].
4. Pengembangan sistem kontrol yang adaptif terhadap fluktuasi beban [51].

Tantangan Ekonomi dan Regulasi

1. Kebutuhan investasi awal yang relatif tinggi [45].

2. Ketidakpastian dalam kebijakan energi terbarukan [52].
3. Kompetisi dengan sumber energi konvensional yang lebih murah [53].
4. Keterbatasan akses ke pendanaan dan insentif finansial [48].

Peluang Pengembangan

1. Potensi besar untuk elektrifikasi daerah terpencil [49].
2. Sinergi dengan pengembangan ekowisata dan konservasi lingkungan [52].
3. Peningkatan kemandirian energi lokal [45].
4. Pengembangan industri lokal terkait manufaktur dan pemeliharaan turbin [43].

Pemahaman untuk mengatasi tantangan-tantangan ini, serta memanfaatkan peluang yang ada, pengembangan PLTPH dengan turbin *screw archimedes* di Indonesia dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan akses listrik, diversifikasi sumber energi, dan pembangunan berkelanjutan di daerah-daerah dengan potensi aliran air dengan *head* rendah. Optimalisasi kinerja turbin *screw archimedes* untuk PLTPH pada aliran air dengan *head* rendah merupakan langkah penting dalam pengembangan energi terbarukan di Indonesia. Melalui analisis komprehensif terhadap berbagai aspek teknis, ekonomi, dan lingkungan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Desain turbin *screw archimedes* yang optimal, meliputi jumlah dan geometri sudu, sudut kemiringan, serta rasio *pitch* terhadap diameter, dapat meningkatkan efisiensi konversi energi secara signifikan [43] [44] [46].
2. Integrasi sistem yang efektif, termasuk optimalisasi sistem transmisi mekanik dan implementasi kontrol elektronik cerdas, dapat meningkatkan kinerja keseluruhan PLTPH ([43] [50].
3. Analisis ekonomi menunjukkan potensi kelayakan yang baik untuk proyek PLTPH dengan turbin *screw archimedes*, dengan periode pengembalian modal yang relatif cepat dan nilai NPV yang positif [52] [53].
4. Pengembangan PLTPH dengan turbin *screw archimedes* membuka peluang signifikan untuk elektrifikasi daerah terpencil, peningkatan kemandirian energi lokal, dan sinergi dengan pengembangan ekowisata ([45] [49] [52].

Diskusi mengenai kinerja turbin *screw archimedes* menunjukkan potensi yang signifikan dalam pengembangan energi terbarukan, khususnya di daerah-daerah dengan sumber daya air yang memadai namun memiliki *head* yang relatif rendah. Menurut [54], turbin ini dapat beroperasi dengan efektif pada *head* rendah

antara 1-10 meter dan membutuhkan debit air yang cukup besar, berkisar antara 0,1-10 m³/s. Keunggulan utama turbin ini adalah kemampuannya untuk menghasilkan efisiensi yang tinggi, mencapai 70-85%, dengan kecepatan rotasi yang relatif rendah, yaitu 30-60 rpm.

Optimalisasi desain turbin *screw archimedes* menjadi faktor kunci dalam meningkatkan kinerjanya. [55] menunjukkan bahwa jumlah sudu memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi turbin. Hasil penelitian tersebut mengindikasikan bahwa jumlah sudu optimal adalah 9 sudu, yang dapat menghasilkan efisiensi tertinggi mencapai 70-75%. Selain itu, sudut kemiringan turbin juga memainkan peran penting dalam optimalisasi kinerja. [56] menemukan bahwa sudut kemiringan optimal berada pada kisaran 28°, yang memberikan keseimbangan antara efisiensi dan kemampuan mengalirkan air. [57] mengungkapkan bahwa peningkatan debit air berbanding lurus dengan peningkatan daya *output* turbin. Hal ini menunjukkan fleksibilitas turbin dalam menghadapi variasi aliran air. [58] memaparkan bahwa dengan *head* efektif 4-5 meter, turbin *screw archimedes* dapat menghasilkan kapasitas 200-300 kW dengan faktor kapasitas mencapai 70-75%.

Integrasi sistem dan optimalisasi kontrol juga menjadi aspek penting dalam meningkatkan kinerja keseluruhan PLTPH. [59] mendemonstrasikan bahwa penambahan *gearbox* dapat meningkatkan kinerja sistem secara signifikan. Implementasi sistem kontrol cerdas, seperti yang diusulkan oleh [60], dapat memperbaiki *drop* tegangan hingga 2,73%, meningkatkan stabilitas *output* listrik. Segi ekonomi, analisis yang dilakukan oleh [61] menunjukkan bahwa biaya investasi awal untuk PLTPH skala kecil relatif terjangkau. Proyek PLTPH skala menengah menunjukkan kelayakan finansial yang baik dengan *Net Present Value* (NPV) positif dan periode pengembalian modal kurang dari 10 tahun, sebagaimana diungkapkan oleh [62].

Pengembangan dan implementasi turbin *screw archimedes* untuk PLTPH juga menghadapi beberapa tantangan. [63] mengidentifikasi tantangan teknis meliputi optimalisasi desain, peningkatan efisiensi, dan integrasi dengan jaringan listrik. [64] menyoroti tantangan ekonomi termasuk kebutuhan investasi awal yang tinggi dan ketidakpastian kebijakan. Peluang pengembangan PLTPH dengan turbin *screw archimedes* sangat menjanjikan. [65] menekankan potensi elektrifikasi daerah terpencil menggunakan teknologi ini. [66] mengungkapkan adanya sinergi potensial antara PLTPH dan ekowisata, yang dapat meningkatkan nilai tambah proyek. Konteks optimalisasi kinerja, penelitian [67] menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis *STEM* (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*) dapat berkontribusi pada peningkatan pemahaman konsep energi dan keterampilan berpikir kreatif dalam pengembangan PLTPH. Hal ini menandakan pentingnya

aspek edukasi dan pengembangan sumber daya manusia dalam optimalisasi teknologi PLTPH.

Perkembangan terbaru dalam desain turbin, seperti yang dipaparkan oleh [68], menunjukkan inovasi dalam bentuk sudu turbin yang dapat meningkatkan efisiensi dan kinerja. [69] juga mengungkapkan bahwa karakteristik daya dan efisiensi turbin *archimedes screw* dapat dioptimalkan melalui pengujian pada saluran tertutup, yang memberikan wawasan baru dalam pengembangan desain. Penelitian komparatif yang dilakukan oleh [70] antara turbin kinetik poros horizontal dan vertikal memberikan perspektif baru dalam pemilihan konfigurasi turbin yang optimal untuk kondisi spesifik. Hal ini menegaskan pentingnya pendekatan holistik dalam optimalisasi kinerja PLTPH, dengan mempertimbangkan berbagai aspek teknis, ekonomi, dan lingkungan.

KESIMPULAN

Berdasarkan tinjauan literatur yang telah dikaji maka dapat diambil kesimpulan bahwa kinerja turbin *screw archimedes* dapat bekerja optimal dengan parameter-parameter desain sebagai berikut:

1. Karakteristik unik turbin dapat beroperasi efektif pada *head* 1-10 meter, debit air 0,1-10 m³/s dengan efisiensi mencapai 70-85%.
2. Parameter-parameter desain turbin:
 - a) Jumlah dan geometri sudu = 5 – 9 sudu
 - b) Sudut kemiringan turbin = 28° – 35°
 - c) *Ratio pitch to diameter* = 1,2 – 1,5
 - d) Debit air = 3,5 – 4,5 L/s
 - e) *Head* efektif = 3 – 5 meter
 - f) Penambahan *gearbox* = *efficiency up to 20%*
 - g) Penambahan kontrol elektronik = *efficiency up to 2% – 3%*

REFERENSI

- [1] L. N. Rahayu eta J. Windarta, «Tinjauan Potensi dan Kebijakan Pengembangan PLTA dan PLTMH di Indonesia», *J. Energi Baru dan Terbarukan*, libk. 3, zenb. 2, or. 88–98, 2022.
- [2] N. Augustone eta P. Pamungkas, «Potensi Perencanaan Aliran Air Bendungan Sei Gong Sebagai Sumber Energi Terbarukan Melalui PLTMH», *J. Civ. Eng. Plan.*, libk. 1, zenb. 1, or. 1–6, 2020.
- [3] R. Rendi, «Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Berkapasitas 3 Kw Dengan Jenis Kincir Undershot Wheel Di Waduk Pt. Jorong Barutama Greston», *Al Jazari J. Ilm. Tek. Mesin*, libk. 8, zenb. 2, or. 45–50, 2023.
- [4] S. Ointu, F. E. P. Surusa, eta M. Zainuddin, «Studi Perencanaan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Berdasarkan Potensi

- Air yang Ada di Desa Pinogu», *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, libk. 2, zenb. 2, or. 30–38, 2020.
- [5] A. R. Sidiq, «Rancang Bangun Turbin Angin Tipe Ulir (Screw) Dengan Kapasitas 120 Watt», *Al Jazari J. Ilm. Tek. Mesin*, libk. 8, zenb. 2, or. 74–78, 2023.
- [6] M. D. Tobi eta V. N. VAN HARLING, «Studi Perencanaan Pembangunan PLTMH Di Kampung Sasnek Distrik Sawiat Kabupaten Sorong Selatan Provinsi Papua Barat», *Electro Luceat*, libk. 3, zenb. 1, or. 32, 2017.
- [7] J. Yanda Zaira, O. Rinaldi Naibaho, P. Studi Teknik Mesin, J. Teknologi Industri, eta P. Caltex Riau, «Design of a Picohydro Power Plant Using a Screw Turbine in a PCR Lake Flow», *J. Tek. Mesin*, libk. 16, zenb. 1, or. 1–8, 2023.
- [8] U. R. Harto Jawadz, H. Prasetyo, eta W. H. Purnomo, «Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Di Aliran Sungai Desa Kejawan Banyumas», *Din. Rekayasa*, libk. 15, zenb. 1, or. 11, 2019.
- [9] S. Rochman eta A. Hermawan, «Design and Construction of Screw Type Micro Hydro Power Plant», *BEST J. Appl. Electr. Sci. Technol.*, libk. 4, zenb. 1, or. 21–26, 2022.
- [10] M. R. Faturrochman, I. Guntara, A. H. Andriawan, R. Hartayu, I. A. W, eta S. Santoso, «Pengaplikasian Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Tipe Turbin Screw di Desa Sendi, Pacet, Kabupaten Mojokerto», *El Sains J. Elektro*, libk. 3, zenb. 2, 2021.
- [11] A. Sidiq, Y. Maulana, eta I. Noor, «5015-12129-1-Sm», libk. 6, zenb. 1, or. 39–45, 2021.
- [12] F. E. Yandra eta S. U. Djufri, «Studi Awal Pemanfaatan Turbin Screw pada Aliran Sungai Kecil di Kota Jambi», *J. Electr. Power Control Autom.*, libk. 2, zenb. 2, or. 29, 2020.
- [13] M. Suyanto, S. Syafrudin, A. C. Nugroho, P. E. P, eta S. Subandi, «Perancangan sistem Pembangkit Listrik Pico Hydro Putaran Rendah Menggunakan Turbin Screw», *J. Electr. Power Control Autom.*, libk. 4, zenb. 1, or. 15, 2021.
- [14] Amnur Akhyan eta Denny Satria, «Pengaruh Laju Aliran Volume Internal Dan Sudut Kemiringan Terhadap Efisiensi Turbin Screw 1 Sudu», *Aptek*, libk. 14, zenb. 1, or. 13–19, 2022.
- [15] M. A. Karim, J. Sumarjo, eta N. Fauji, «Perancangan Pembangkit Listrik Picohydro Dengan Tipe Turbin Screw», *J. Tek. Mesin*, libk. 14, zenb. 2, or. 99–105, 2021.
- [16] K. Rahmawaty eta S. Dharma, «Simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD) Pada Turbin Screw Archimedes Skala», or. 1253–1262, 2021.
- [17] A. Hiendro eta R. Aldrian Wicaksono, «Analisis Pengaruh Jumlah Blade Turbin Air Terhadap Kinerja PLTMH Dengan Menggunakan Turbin Terapung Archimedes Screw», *Hiendro & Wicaksono*, libk. 4, zenb. 1, or. 9–13, 2023.
- [18] J. U. Jasron, W. M. A. Silla, eta G. Gusnawati, «Pengaruh Jarak Antar Ulir Terhadap Daya Output Pada Turbin Archimedes Screw», *J. Inov. Teknol. Terap.*, libk. 2, zenb. 1, or. 154–159, 2024.
- [19] M. Rizky Baru eta F. Kurniawan, «Respon Kinerja Turbin Pelton Dengan Diameter Nozle Aliran Tekanan Air», *Cetak) Bul. Utama Tek.*, libk. 17, zenb. 2, or. 1410–4520, 2022.
- [20] H. Irawan eta M., «Perancangan Turbin Air Tipe Crossflow Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro», *Al-Jazari J. Ilm. Tek. Mesin*, libk. 4, zenb. 1, or. 46–50, 2019.
- [21] I. Sunaryantiningsih eta R. I. Vidyastari, «Perencanaan Turbin Screw pada studi potensi hyDropower di kawasan air terjun serambang park», *ELECTRA Electr. Eng. Artic.*, libk. 3, zenb. 2, or. 46, 2023.
- [22] Z. Mukhri, «Uji Kinerja Turbin Francis Skala Laboratorium dengan Variasi Bukaannya Katup Laboratory Scale Francis Turbine Performance Test with Variation of Valve Opening», *IRA J. Tek. Mesin dan Apl.*, libk. 1, zenb. 1, or. 17–24, 2022.
- [23] Ihat Solihat, «Rancang Bangun Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)», *Inov. Ilmu Pengetah. dan Teknol.*, libk. 1, zenb. 2, or. 7–14, 2020.
- [24] Djoko Wahyudi, D. H. T. Prasetyo, M. F. Noor, eta Mustakim, «Unjuk Kerja Turbine Archimedes Screw pada PLTMH dengan Variasi Debit Air dan Kemiringan Poros», *J. Flywheel*, libk. 13, zenb. 2, or. 28–34, 2022.
- [25] N. F. Syafitri, «Analisis Profil Sudu Turbin Mikro Hidro Vortex Untuk Mendapatkan Efisiensi Optimum», *Semin. Nas. Cendekiawan*, or. 535–541, 2018.
- [26] K. Dwiky Sadha Widiarta, I. W. Arta Wijaya, eta I. M. Suartika, «“Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Di Desa” Aan, Kabupaten Klungkung Provinsi Bali», *J. SPEKTRUM*, libk. 8, zenb. 3, or. 1, 2021.
- [27] T. M. Syahputra, M. Syukri, eta I. D. Sara, «Rancang Bangun Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hydro dengan menggunakan Turbin Ulir», *KITEKTRO J. Online Tek. Elektro*, libk. 2, zenb. 1, or. 16–22, 2017.
- [28] R. A. Suatan, I. A. D. Giriantari, eta I. W. Sukerayasa, «Kajian Ekonomi Rencana PLTMH di Desa Panji», *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, libk. 19, zenb. 2, or. 263, 2020.
- [29] D. Efriyasika, I. Qiram, eta G. Rubiono, «Tingkat Kekasaran Permukaan Sudu dan Sudut Input Air terhadap Unjuk Kerja Turbin Vortex», *JUSTE (Journal Sci. Technol.*, libk. 1, zenb. 2, or. 182–194, 2021.
- [30] D. Almuchizzun et al., «Analisis Desain Blade Turbin Air Mikrohidro Archimedes Screw

- Terapung Berbasis CFD», *Danial & Wicaksono*, libk. 4, zenb. 1, or. 24–29, 2023.
- [31] Rimbawati, Cholish, E. Saputro, et al. P. Harahap, «Perancangan Sistem Kontrol Penstabil Tegangan Menggunakan PLC M221 Pada PLTMH Bintang Asih», *J. Tek. Elektro*, libk. 3, zenb. 2, or. 62–70, 2021.
- [32] H. B. Harja, H. Abdurrachim, et al. S. Yoewono, «Studi Eksperimental Kinerja Turbin Ulir Archimedes», zenb. Snttm Xi, or. 16–17, 2022.
- [33] K. Pribadi, D. H. Setiabudi, et al. B. Jalaali, «Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Sudut Kemiringan Poros Terhadap Kinerja Turbin Ulir Archimedes», *J. Sci. Appl. Technol.*, libk. 6, zenb. 2, or. 92, 2022.
- [34] G. R. Cahyono, A. Amrullah, P. R. Ansyah, et al. R. Rusdi, «Pengaruh Sudut Kemiringan Terhadap Putaran Dan Daya Hidrolisis Pada Turbin Archimedes Screw Portable», *J. Rekayasa Mesin*, libk. 13, zenb. 1, or. 257–266, 2022.
- [35] H. Budi Harja, H. Abdurrahim, S. Yoewono, et al. H. Riyanto, «Penentuan Dimensi Sudu Turbin dan Sudut Kemiringan Poros Turbin pada Turbin Ular Archimedes», *Met. Indones.*, libk. 36, zenb. 1, or. 26, 2016.
- [36] A. Nurdin et al. D. A. Himawanto, «Kajian Teoritis Uji Kerja Turbin Archimedes Screw Pada Head Rendah», *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, libk. 9, zenb. 2, or. 783–796, 2018.
- [37] I. P. Juliana, A. I. Weking, et al. 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*, libk. 17, zenb. 3, or. 393, 2018.
- [38] Y. Hizhar, B. Yulistianto, et al. S. Darmo, «Rancang Bangun dan Studi Eksperimental Pengaruh Perbedaan Jarak Pitch dan Kemiringan Poros terhadap Kinerja Mekanik Model Turbin Ulir 2 Blade Pada Aliran Head Rendah», *Met. J. Sist. Mek. dan Termal*, libk. 1, zenb. 1, or. 27, 2017.
- [39] A. D. Nugroho, «Kajian Teoritik Pengaruh Geometri Dan Sudut Kemiringan Terhadap Kinerja Turbin Archimedes Screw», *Conf. Senat. STT Adisutjipto Yogyakarta*, libk. 3, 2017.
- [40] S. Aryatama Hutabarat et al., «Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Tipe Turbin Screw di Desa Ramba Goring-goring», *Pros. Semin. Nas. Tek. Mesin Politek. Negeri Jakarta*, or. 841–848, 2022.
- [41] A. Muliawan et al. A. Yani, «Analisis Daya Dan Efisiensi Turbin Air Kinetis Akibat Perubahan Putaran Runner», *Sainstek J. Sains dan Teknol.*, libk. 8, zenb. 1, or. 1, 2017.
- [42] I. P. Wahyu Indra Wedanta, W. Arta Wijaya, et al. L. Jasa, «Analisa Pengaruh Kemiringan Head Dan Variasi Sudut Blade Turbin Ulir Terhadap Kinerja PLTMH», *J. SPEKTRUM*, libk. 8, zenb. 1, or. 73, 2021.
- [43] I. G. N. Arya Raditya, L. Jasa, et al. I. W. Arta Wijaya, «Analisis Pengaruh Penambahan Gearbox Pada Turbin Archimedes Screw Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)», *J. SPEKTRUM*, libk. 8, zenb. 3, or. 164, 2021.
- [44] I. G. W. Putra, A. I. Weking, et al. L. Jasa, «Analisa Pengaruh Tekanan Air Terhadap Kinerja PLTMH dengan Menggunakan Turbin Archimedes Screw», *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, libk. 17, zenb. 3, or. 385, 2018.
- [45] I. Komang Ogik Parmana Putra, I. Ayu Dwi Giriantari, et al. I. Nyoman Setiawan, «Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro pada Saluran Irigasi Desa Angantaka Abiansemal Badung.», *J. SPEKTRUM*, libk. 10, zenb. 1, or. 1–10, 2023.
- [46] K. Rekha Agustha, L. Jasa, et al. I. M. Suartika, «Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi Pada Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Dengan Menggunakan Turbin Vortex», *J. SPEKTRUM*, libk. 9, zenb. 3, or. 24, 2022.
- [47] I. G. N. Agastya Citranath, L. Jasa, et al. I. M. Suartika, «Analisis Daya Output Generator Berdasarkan Variasi Debit Air Pada Prototype PLTMH Dengan Turbin Vortex», *J. SPEKTRUM*, libk. 9, zenb. 3, or. 35, 2022.
- [48] I. D. G. Natih Evan Bayu, I. W. Sukerayasa, et al. C. G. Indra Partha, «Potensi PLTMH Di Bendungan Sidan, Desa Belok Sidan, Kabupaten Badung», *J. SPEKTRUM*, libk. 11, zenb. 1, or. 138, 2024.
- [49] W. Ernest Putra, I. W. Sukerayasa, et al. I. A. Dwi Giriantari, «Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Di Sungai Yeh Dikis Banjar Lebah Kabupaten Tabanan», *J. SPEKTRUM*, libk. 10, zenb. 2, or. 14, 2023.
- [50] I. K. Adiasa, N. P. Satriya Utama, et al. I. N. Setiawan, «Optimasi Interkoneksi Distributed Generation (Dg) Penyulang Payogan Menggunakan Metode Genetic Algorithms (Ga) Untuk Memperbaiki Drop Tegangan», *J. SPEKTRUM*, libk. 6, zenb. 1, or. 10, 2019.
- [51] N. P. A. R. Sari, W. G. Ariastina, I. N. Setiawan, C. G. I. Partha, I. W. Sukerayasa, et al. I. N. S. Kumara, «Perancangan Jaringan Distribusi Untuk Plts Terapung Dan PLTMH Di Bendungan Sidan», *J. SPEKTRUM*, libk. 11, zenb. 1, or. 153, 2024.
- [52] K. Buleleng, «MENDUKUNG WISATA HIJAU DI», libk. 10, zenb. 4, or. 9–18, 2023.
- [53] G. I. M. Leba, I. N. Setiawan, I. W. Sukerayasa, W. G. Ariastina, I. A. D. Giriantari, et al. I. N. S. Kumara, «POMPA AIR SUNGAI YEH HA DI», libk. 11, zenb. 1, or. 246–255, 2024.
- [54] H. S. Aldio Syafiq Mughni Abidin, Andi Sanata, Mochamad Asrofi, «Analisis Performa Turbin Air

- Tipe Ulir (Archimedes Screw) Dengan Variasi Tekanan», *J. STATOR*, libk. 4, zenb. 1, or. 19–22, 2021.
- [55] H. B. Prasetyo eta R. Rahmadian, «Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Menggunakan Turbin Vortex», *J. Tek. Elektro*, libk. 12, zenb. 2, or. 65–73, 2023.
- [56] N. A. Shalahuddin, D. A. Himawanto, eta P. J. Widodo, «Pengaruh kemiringan poros sudu terhadap unjuk kerja turbin ulir archimedes pikohidro», libk. 15, zenb. 2, or. 1–4, 2020.
- [57] H. D. Nugraha, E. K. Laksanawati, eta D. Suhendra, «Analisis Potensi Hidro Kinetik Di Sungai Cisadane Untuk Pengembangan Turbin Ulir Screw Skala Kecil», *Mot. Bakar J. ...*, libk. 7, zenb. 2, 2023.
- [58] B. Ardo, E. Emidiana, eta P. Perawati, «Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di Desa Tanjung Raman Talang Air Selepah Kecamatan Pendopo Kabupaten Empat Lawang», *J. Tekno*, libk. 19, zenb. 1, or. 81–92, 2022.
- [59] I. W. B. Saputra, A. I. Weking, eta L. Jasa, «Rancang Bangun Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Menggunakan Kincir Overshot Wheel», *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, libk. 16, zenb. 2, or. 48, 2017.
- [60] E. Tonadi, «Analisis Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi Turbin Pelton Dengan Tekanan Konstan», *Teknosia*, libk. 15, zenb. 1, or. 36–42, 2021.
- [61] M. J. Situmorang, I. Hermawan, eta M. Idris, «Analisis Kinerja Turbin Ulir Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Dengan Variasi Sudut Kemiringan Poros», *J. Teknovasi*, libk. 09, zenb. 1122, or. 91–102, 2022.
- [62] M. Arham eta M. I. Nur, «Perancangan PLTMH Turbin Archimedes Screw Pada Kawasan Pedesaan Terpencil Dusun Cindakko Desa Bonto Somba Kec.Tompobulu Kab. Maros», libk. 5, zenb. 1, or. 17–22, 2023.
- [63] M. Ridhoi, R. Alfath, eta S. Adiwidodo, «Pengaruh Perubahan Sudut Sirip Tepi (Tip Fin) Terhadap Kinerja Turbin Ulir Pengaruh Perubahan Sudut Sirip Tepi (Tip Fin) Terhadap Kinerja Turbin Ulir terbaru yang memiliki peranan penting», libk. 12, zenb. January, or. 239–245, 2024.
- [64] M. Mafruddin eta D. Irawan, «Pengaruh Diameter Dan Jumlah Sudu Runner Terhadap Kinerja Turbin Cross-Flow», *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, libk. 7, zenb. 2, or. 223–229, 2018.
- [65] Kusnadi, A. Mulyono, G. Pakki, eta G. Gunarko, «Rancang Bangun Dan Uji Performansi Turbin Air Jenis», *J. Tek. Mesin Univ.*, libk. 7, zenb. 2, or. 207, 2018.
- [66] A. Yani, M. Mihdar, eta R. Erianto, «PENGARUH VARIASI BENTUK SUDU TERHADAP KINERJA TURBIN AIR KINETIK (Sebagai Alternatif Pembangkit Listrik Daerah Pedesaan)», *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, libk. 5, zenb. 1, or. 1–6, 2017.
- [67] A. D. Heryanti, «Pembelajaran Berbasis Stem Untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Energi Dan Keterampilan Berpikir Kreatif Melalui Proyek PLTMH», *J. Wahana Pendidik.*, libk. 7, zenb. 1, or. 77, 2020.
- [68] A. Al Farisi, Y. Handoyo, eta T. Rokhman, «Analisis Variasi Jumlah Sudu Turbin Berpenampang Pelat Datar Pada Turbin Air Aliran Vortex Dengan Tipe Saluran Masuk Involute», *J. Ilm. Tek. Mesin*, libk. 7, zenb. 2, or. 72–78, 2020.
- [69] A. A. Salam, «Karakteristik Daya Dan Efisiensi Turbin Archimedes Screw Terhadap Head Konstan Yang Diuji Pada Saluran Tertutup», *J. Tek. Mesin FT-UMI*, libk. 3, zenb. 2, or. 31–37, 2021.
- [70] Y. S. Pramesti, «Analisa pengaruh sudut sudu terhadap kinerja turbin kinetik poros horisontal dan vertikal», *J. Mesin Nusant.*, libk. 1, zenb. 1, or. 51, 2018.
- [71] S. Heri, S. Purwo, R. Yose, eta A. Saiful « diseminasi energi listrik piko hidro sebagai solusi alternatif kelangkaan energi listrik di desa terisolir», *JAMAT.*, libk. 1, zenb. 2, or. 45-51, 2023.