



Analisis Pemilihan Jenis Turbin PLTMH Berdasarkan Rentang *Head* pada Sistem Pemanfaatan Air Buangan Pembangkit Listrik

Ahmad Muhajir¹, Indah Pratiwi¹, Rusdianasari¹

¹Program Magister Terapan Teknik Energi Terbarukan, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received November 2, 2025

Revised November 21, 2025

Accepted Desember 15, 2025

Available online Januari 10, 2026

Kata Kunci:

air buangan *pembangkit energy recovery*, *head*, PLTMH, pemilihan turbin

Keywords:

Energy recovery, *head*, *Micro Hydro Power*, *power plant waste water*, *turbine selection*

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2026 by Author. Published by Universitas PGRI ADI BUANA SURABAYA.

ABSTRAK

Pemanfaatan air buangan pembangkit Listrik melalui Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) merupakan strategi *energy recovery* untuk meningkatkan efisiensi sistem energi. Karakteristik air buangan yang umumnya memiliki *head* rendah hingga sangat rendah dengan debit relative stabil memerlukan pendekatan pemilihan turbin yang berbeda pada PLTA konvensional. Artikel ini menyajikan analisis kritis dan sintesis teknis pemilihan turbin PLTMH berdasarkan rentang *head* pada pemanfaatan air buangan pembangkit listrik. Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan kerangka pemilihan turbin PLTMH yang terintegrasi dan aplikatif berdasarkan hubungan karakteristik *head-debit* dengan kesesuaian teknis dan kinerja turbin. Metode penelitian menggunakan *systematic literatur review* terhadap lebih dari 25 jurnal nasional dan internasional. Hasil kajian menunjukkan bahwa turbin *Archimedes screw* dan *waterwheel* modern paling sesuai untuk kondisi *very load head* ($\leq 2\text{m}$), sedangkan turbin *crossflow* optimal untuk kondisi *low head* hingga *medium head* (2-20m). Artikel ini berkontribusi dalam menyediakan acuan teknis pemilihan turbin PLTMH berbasis air buangan pembangkit untuk mengembangkan sistem *energy recovery* pada pembangkit listrik eksisting.

ABSTRACT

The Utilization of wastewater from power plants through Micro Hydro Power Plants (MHP) is an energy recovery strategy to improve the efficiency of energy systems. The characteristics of wastewater, which generally have low to very low heads with relatively stable discharges, require a different turbine selection approach than conventional hydropower plants. This article presents a critical analysis and technical synthesis of MHP turbine selection based on the head range in the utilization of MHP wastewater. The novelty of this research lies in the development of an integrated and applicable MHP turbine selection framework based on the relationship between head-discharge characteristics and technical suitability and turbine performance. The research method uses a systematic literature review of more than 25 national and international journals. The results of the study indicate that modern Archimedes screw and waterwheel turbines are most suitable for very load head conditions ($\leq 2\text{m}$), while crossflow turbines are optimal for low to medium head conditions (2-20m). This article contributes to providing a technical reference for selecting MHP turbines based on power plant wastewater to develop energy recovery systems in existing power plants.

I. PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan energi Listrik nasional mendorong optimalisasi pemanfaatan berbagai sumber energi terbarukan, termasuk energi air skala kecil melalui Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Di sisi lain, air buangan dari pembangkit Listrik besar seperti PLTU, PLTA, dan PLTG umumnya langsung dialirkan ke badan air tanpa dimanfaatkan lebih lanjut, meskipun masih memiliki potensi energi kinetik dan potensial yang signifikan. Kondisi ini membuka peluang penerapan PLTMH berbasis air buangan pembangkit sebagai bagian dari sistem *energy recovery*.

Berbeda dengan PLTA konvensional, air buangan pembangkit dicirikan oleh *head* rendah dan sangat rendah dengan debit relatif stabil, sehingga parameter *head* menjadi faktor dominan dalam menentukan jenis turbin yang dapat beroperasi secara efisien. Namun, sebagian besar kajian PLTMH masih berfokus pada sistem aliran alami dan belum secara spesifik mengkaji pemilihan turbin berdasarkan

*Corresponding author.

E-mail addresses: engineermulia2017@gmail.com

karateristik *head* pada aplikasi buangan pembangkit. Oleh karena itu, diperlukan kajian komprehensif yang tidak hanya mendiskripsikan jenis turbin, tetapi juga melakukan analisis kritis dan sintesis terhadap kesesuaian teknis turbin PLTMH berdasarkan rentang *head* pada pemanfaatan air buangan pembangkit. Artikel ini diharapkan dapat mengisi celah penelitian tersebut dan memberikan kontribusi praktis bagi perancangan sistem PLTMH berbasis air buangan.

II. METODE REVIEW

Metodelogi yang digunakan dalam penelitian ini adalah *systematic literatur review* (SLR) untuk memperoleh gambaran komprehensif dan terstruktur terkait pemilihan jenis turbin PLTMH. Proses penelusuran literatur dilakukan melalui basis data jurnal nasional dan internasional dengan fokus pada publikasi yang membahas klasifikasi turbin air, kinerja turbin berdasarkan *head* dan debit, serta studi kasus pemanfaatan air buangan pembangkit.

Kriteria inklusi meliputi artikel yang relevan secara teknis, dipublikasikan dalam jurnal bereputasi, dan menyajikan data atau analisis terkait kinerja turbin PLTMH. Artikel ini yang terpilih kemudian diklasifikasikan berdasarkan rentang *head* operasional yaitu berdasarkan rentang *head* operasional yaitu *very low head* (≤ 2 m), *low head* (2–20 m), *medium head* (20–100 m), dan *high head* (> 100 m).

Analisis dilakukan secara komparatif dan kritis dengan mempertimbangkan karakteristik debit, efisiensi turbin, kompleksitas desain, serta kesesuaian aplikasinya pada air buangan pembangkit. Tahapan ini bertujuan untuk menghasilkan sintesis yang aplikatif sebagai dasar pemilihan turbin PLTMH berbasis air buangan

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik air buangan pembangkit Listrik yang didominasi oleh *head* rendah hingga menengah dengan debit relatif stabil menunjukkan bahwa potensi energi yang tersedia bergantung pada debit dibandingkan dengan tinggi jatuh air. Umumnya berada pada rentang *head* rendah umumnya berada pada rentang *head* rendah hingga menengah (0,5 – 15 m) dengan debit relatif stabil antara 0,1 – 2,0 m³/s, tergantung pada kapasitas dan konfigurasi sistem pendingin atau saluran pembuangan pembangkit [8], [9]. Kondisi ini membatasi pemilihan turbin, karena hanya turbin tertentu yang mampu beroperasi secara efisien pada kombinasi *head* rendah dan debit besar [10].

3.1 Jenis Turbin Berdasarkan Rentang Head

a. Turbin untuk *Very Low Head* (≤ 2 m)

Turbin very low head umumnya diaplikasikan pada sistem yang memiliki perbedaan ketinggian yang sangat kecil, seperti saluran irigasi, *tailrace*, dan *outfall* air buangan pembangkit [23]. Salah satu jenis turbin yang banyak digunakan adalah *waterwheel* modern, yang bekerja berdasarkan energi kinetik aliran air. Penelitian menunjukkan bahwa *waterwheel* tipe *undershot* dan *breastshot* masih relevan untuk aplikasi skala mikro sederhana dengan efisiensi yang cukup kompetitif. Studi menunjukkan bahwa *waterwheel* modern mampu beroperasi pada *head* 0,5–2 m dengan efisiensi sekitar 50–70%, menghasilkan daya tipikal 5–15 kW pada debit di atas 0,3 m³/s [10], [19].

Pada kondisi *head* sangat rendah, kajian Ade Putra Maulana [22] menunjukkan bahwa perancangan turbin air skala mikro memerlukan optimasi geometri sudu dan runner agar mampu beroperasi secara efektif. Hasil analisis eksperimental dan numerik menunjukkan bahwa perubahan sudut dan dimensi sudu berpengaruh signifikan terhadap daya keluaran turbin pada *head* di bawah 2 m. Temuan ini relevan untuk pemanfaatan air buangan pembangkit yang umumnya memiliki perbedaan elevasi sangat kecil.

Selain *waterwheel*, turbin *Archimedes screw* menjadi pilihan untuk *head* sangat rendah karena kemampuannya beroperasi pada aliran terbuka dengan fluktuasi debit yang tinggi. Studi lain menunjukkan bahwa turbin *Archimedes screw* memiliki karakteristik torsi yang stabil dan cocok untuk sistem portable maupun permanen pada *head* rendah.

Turbin *Archimedes screw* menunjukkan performa yang lebih stabil pada kondisi serupa, dengan efisiensi berkisar 60–80% dan kemampuan beroperasi pada aliran terbuka yang fluktuatif [15]. Karakteristik turbin sangat sesuai untuk air buangan pembangkit yang beroperasi secara kontinyu dengan perubahan debit musiman yang relatif kecil [16].

Pada konteks air buangan pembangkit, turbin *very low head* memiliki keunggulan dari sisi kemudahan instalasi dan minimnya kebutuhan struktur sipil tambahan. Namun, tantangan utama terletak pada optimasi desain sudu agar sesuai dengan karakteristik aliran buangan yang sering kali tidak seragam. Meskipun efisiensi teoritis turbin *Archimedes screw* dan *waterwheel* modern relatif lebih rendah dibandingkan turbin impuls, keunggulan utama keduanya terletak pada kemampuan beroperasi pada *head* sangat rendah dengan debit besar serta kemudahan integrasi dengan saluran buang eksisting.

b. Turbin untuk *Very Low Head* (2-20 m)

Turbin low head sering digunakan dan diaplikasikan pada PLTMH, termasuk pada pemanfaatan air buangan pembangkit. Turbin *Kaplan* dan *propeller* dikenal memiliki efisiensi tinggi pada debit besar dan *head* rendah, namun membutuhkan sistem kontrol sudu yang relatif kompleks.

Turbin *Kaplan* dan *propeller* memiliki efisiensi lebih tinggi (80–90%) pada debit besar dan *head* rendah, namun kebutuhan sistem kontrol sudu dan biaya investasi yang tinggi membatasi aplikasinya pada PLTMH berbasis air buangan skala kecil [11], [17].

Turbin *crossflow* menjadi pilihan yang lebih sederhana dan ekonomis untuk *head* rendah sampai menengah. Agung Wijaya Pratama mengkaji desain turbin *crossflow* menggunakan pendekatan metode *Taguchi* dan simulasi *computational fluid dynamics* (CFD) untuk menentukan kombinasi optimal sudut sudu, jumlah sudu, dan arah aliran.

Turbin *crossflow* dapat beroperasi pada *head* 2–20 m dan debit 0,05–1,5 m³/s, dengan efisiensi mencapai 70–85% [12], [13]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengoptimalan parameter sudu mampu meningkatkan distribusi tekanan dan kecepatan fluida di dalam *runner*, sehingga berdampak langsung pada peningkatan daya keluaran turbin.

Hasil optimasi desain menunjukkan bahwa pengaturan sudut sudu pada kisaran 30°–40° dan jumlah sudu 18–24 buah mampu meningkatkan daya keluaran hingga 10–20% dibandingkan desain konvensional [22]. Pada aplikasi air buangan pembangkit dengan *head* 5–10 m, turbin *crossflow* dilaporkan mampu menghasilkan daya listrik 10–50 kW, sehingga sangat potensial sebagai sistem *energy recovery* [9], [12].

Studi kasus pemanfaatan outlet kondensor PLTU menunjukkan bahwa turbin *crossflow* mampu menghasilkan daya listrik tambahan tanpa mengganggu operasi utama pembangkit. Turbin *crossflow* menunjukkan fleksibilitas operasi yang tinggi pada variasi debit dan *head* rendah hingga menengah, sehingga sangat sesuai untuk karakteristik air buangan pembangkit. Kemampuan aliran air untuk melewati sudu turbin sebanyak dua kali menjadikan turbin ini lebih toleran terhadap fluktuasi debit tanpa penurunan efisiensi yang signifikan. Hal ini menjadikan turbin *low head* sebagai kandidat utama dalam sistem *waste water energy recovery*.

c. Turbin untuk *Medium Head* (20–100 m)

Turbin *Francis* merupakan jenis turbin reaksi yang banyak digunakan pada *head* menengah. Pada konteks air buangan pembangkit, aplikasi turbin *Francis* relatif terbatas karena umumnya air buangan tidak memiliki *head* yang cukup tinggi. Namun, pada sistem tertentu seperti *cascade outlet* atau saluran pelimpah bertingkat, turbin *Francis* masih berpotensi digunakan.

Turbin *Francis* dan *Pelton* menunjukkan efisiensi tinggi pada *head* menengah hingga tinggi, masing-masing mencapai 85–90% pada kondisi operasi stabil [8], [14]. Namun, sebagian besar studi menunjukkan bahwa air buangan pembangkit jarang memiliki *head* di atas 20 m, sehingga penerapan turbin ini lebih bersifat teoretis dan tidak menjadi pilihan utama dalam praktik PLTMH berbasis air buangan [9], [20].

Penelitian menunjukkan bahwa turbin *Francis* memiliki efisiensi tinggi dan stabil pada kondisi operasi yang relatif konstan, sehingga cocok untuk sistem PLTMH yang terintegrasi dengan infrastruktur pembangkit eksisting. Namun, biaya investasi dan kompleksitas desain menjadi tantangan utama.

d. Turbin untuk *High Head* (>100 m)

Air buangan pembangkit umumnya memiliki *head* rendah hingga menengah, pembahasan turbin *high head* tetap relevan sebagai pembanding. Turbin *Pelton* merupakan turbin impuls yang paling umum digunakan pada *head* tinggi dengan debit relatif kecil. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa turbin *Pelton* mampu mencapai efisiensi di atas 85% pada kondisi *head* tinggi yang stabil, sehingga sering dijadikan acuan performa maksimum turbin air.

Selain *Pelton*, turbin *Turgo* juga termasuk turbin impuls yang dapat beroperasi pada rentang *head* menengah hingga tinggi dengan sudut semprotan berbeda. Keunggulan utama turbin *Turgo* adalah kemampuannya menangani debit lebih besar dibanding *Pelton* dengan diameter *runner* yang lebih kecil. Namun, aplikasi turbin ini pada air buangan pembangkit masih sangat terbatas karena keterbatasan *head*.

3.2 Studi Kasus Pemanfaatan Air Buangan Pembangkit untuk PLTMH

Studi menunjukkan bahwa *outlet* kondensor PLTU memiliki debit relatif konstan sehingga berpotensi dimanfaatkan untuk PLTMH skala kecil menggunakan turbin *crossflow*. Hasil perencanaan menunjukkan daya listrik tambahan yang cukup signifikan tanpa mengganggu sistem utama pembangkit.

Studi kasus pemanfaatan air buangan pembangkit listrik telah mulai dikaji secara spesifik dalam beberapa penelitian di Indonesia. Fairuzi et al. meneliti pemanfaatan *outfall* kondensor PLTU Sebalang menggunakan turbin *waterwheel* sebagai sistem PLTMH. Hasil penelitian menunjukkan bahwa air buangan dengan debit sekitar 1,18 m³/s dan *head* ±1,5 m masih memiliki potensi energi yang layak untuk dikonversi menjadi energi listrik. Hasil perancangan menunjukkan bahwa dengan pemilihan konfigurasi sudu *waterwheel* yang tepat, PLTMH pada *outfall* PLTU Sebalang mampu menghasilkan daya listrik tambahan sekitar 8–10 kW.

Selain PLTU Sebalang, beberapa studi lain di Indonesia menunjukkan bahwa air buangan waduk dan saluran pelimpah sebagai dasar perencanaan *pico-hydro* dan *micro-hydro*. Hasil analisis debit menunjukkan bahwa sistem ini sangat cocok untuk turbin *head* rendah hingga menengah, khususnya *crossflow* dan *Archimedes screw*.

Studi-studi tersebut mengindikasikan bahwa pemanfaatan air buangan pembangkit memiliki keunggulan dari sisi keberlanjutan debit dan minim konflik pemanfaatan air, sehingga layak dikembangkan lebih lanjut sebagai bagian dari sistem energi terintegrasi.

3.3 Perhitungan Dasar Daya dan Pemilihan Turbin PLTMH

Perhitungan daya potensial PLTMH didasarkan pada parameter debit (Q), *head* efektif (H), percepatan gravitasi (g), densitas air (ρ), dan efisiensi sistem (η). Persamaan dasar daya air dinyatakan sebagai:

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta \quad (1)$$

di mana :

P adalah daya listrik (Watt)

ρ adalah densitas air (1000 kg/m³)

g adalah percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

Q adalah debit air (m³/s)

H adalah *head* efektif (m)

η adalah efisiensi total sistem.

Sebagai contoh, jika air buangan pembangkit memiliki debit 0,5 m³/s dan *head* efektif 6 m dengan efisiensi sistem 70%, maka daya listrik yang dihasilkan dapat dihitung sebagai berikut:

$$P = 1000 \times 9,81 \times 0,5 \times 6 \times 0,7 = 20.601 \text{ W atau sekitar } 20,6 \text{ kW.}$$

Perhitungan ini menunjukkan bahwa air buangan pembangkit memiliki potensi nyata untuk menghasilkan energi listrik tambahan.

3.4 Komparasi Jenis Turbin PLTMH Berdasarkan *Head*, Debit dan Aplikasi Air Buangan

Untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai kesesuaian jenis turbin PLTMH terhadap karakteristik *head* dan debit air buangan pembangkit, diperlukan analisis komparatif antar turbin. Komparasi ini penting karena air buangan pembangkit umumnya memiliki *head* rendah hingga menengah dengan debit relatif stabil, sehingga tidak semua jenis turbin konvensional layak diaplikasikan.

Tabel 1. Komparasi Jenis Turbin PLTMH Berdasarkan *Head* dan Karakteristik Operasi

Jenis Turbin	Rentang <i>Head</i> (m)	Karakteristik Debit	Efisiensi Tipikal	Kelebihan Utama	Kesesuaian untuk Air Buangan
<i>Waterwheel</i> (<i>undershot/breastshot</i>)	≤ 2	Besar, aliran terbuka	50–70%	Desain sederhana, biaya rendah	Cukup sesuai
<i>Archimedes Screw</i>	0,5–10	Besar, fluktuatif	60–80%	Stabil pada debit berubah	Sangat sesuai
<i>Crossflow</i>	2–20	Sedang–besar	70–85%	Toleran debit, murah	Sangat sesuai
<i>Kaplan / Propeller</i>	2–20	Besar, stabil	80–90%	Efisiensi tinggi	Sesuai (terbatas biaya)
<i>Francis</i>	20–100	Sedang	85–90%	Operasi stabil	Kurang sesuai

Jenis Turbin	Rentang Head (m)	Karakteristik Debit	Efisiensi Tipikal	Kelebihan Utama	Kesesuaian untuk Air Buangan
<i>Pelton</i>	>100	Kecil	>85%	Head tinggi	Tidak sesuai
<i>Turgo</i>	50–200	Kecil–sedang	80–90%	Runner kecil	Tidak sesuai

Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa turbin *Archimedes screw* dan *crossflow* memiliki tingkat kesesuaian tertinggi untuk aplikasi air buangan pembangkit. Hal ini disebabkan oleh kemampuannya beroperasi pada head rendah, toleransi terhadap variasi debit, serta kemudahan integrasi dengan saluran buang eksisting.

Turbin *Kaplan* dan *propeller* menawarkan efisiensi yang lebih tinggi, namun memerlukan sistem kontrol sudu dan infrastruktur sipil yang lebih kompleks, sehingga kurang ekonomis untuk PLTMH berbasis air buangan pembangkit skala kecil. Oleh karena itu, penggunaannya lebih sesuai pada proyek dengan kapasitas daya yang relatif besar dan investasi memadai.

Sebaliknya, turbin *Francis*, *Pelton*, dan *Turgo* meskipun unggul dari sisi efisiensi pada kondisi tertentu, memiliki keterbatasan signifikan untuk diaplikasikan pada air buangan pembangkit karena kebutuhan head yang tinggi. Oleh sebab itu, turbin-turbin ini lebih relevan sebagai pembandingan teoretis dalam kajian PLTMH.

3.5 Implikasi Teknis dan Rekomendasi Desain PLTMH Berbasis Air Buangan

Perancangan PLTMH berbasis air buangan pembangkit sistem yang lebih sederhana, memiliki fleksibilitas tinggi, biaya investasi dan perawatan operasi yang rendah, dan minimnya gangguan terhadap sistem utama pembangkit. Air buangan umumnya memiliki head rendah dan debit relatif stabil, sehingga desain sistem harus mampu memaksimalkan energi kinetik tanpa memerlukan modifikasi sipil yang signifikan. Hal ini menuntut pemilihan turbin yang toleran terhadap variasi debit dan memiliki karakteristik *self-cleaning* terhadap sedimen.

Dari sisi teknis, turbin *crossflow* direkomendasikan sebagai pilihan utama untuk air buangan pembangkit dengan head 3–15 m karena kemudahan manufaktur lokal, biaya investasi relatif rendah, serta kemampuannya beroperasi pada rentang debit yang luas. Selain itu, konfigurasi *nozzle* dan sudu pada turbin *crossflow* dapat dioptimalkan secara spesifik sesuai karakteristik aliran buangan pembangkit untuk meningkatkan efisiensi sistem.

Untuk kondisi *very low head* (<3 m) dengan debit besar, turbin *Archimedes screw* direkomendasikan karena stabilitas torsi dan kemudahan integrasi dengan saluran terbuka. Desain turbin jenis ini juga relatif ramah lingkungan dan minim risiko kavitasi, sehingga cocok diaplikasikan pada saluran buang pembangkit yang beroperasi secara kontinu.

Rekomendasi desain PLTMH berbasis air buangan juga mencakup pemilihan generator dengan karakteristik putaran rendah (*low-speed generator*) atau penggunaan sistem transmisi yang efisien. Hal ini penting untuk menjaga efisiensi konversi energi pada sistem dengan head rendah. Selain itu, penggunaan sistem kontrol sederhana sangat dianjurkan untuk menjaga keandalan operasi jangka panjang. Dari perspektif integrasi sistem, PLTMH berbasis air buangan sebaiknya dirancang sebagai sistem *non-intrusive* yang tidak mempengaruhi performa pembangkit utama. Oleh karena itu, desain intake, penempatan turbin, dan saluran keluaran harus mempertimbangkan aspek keselamatan operasional serta kemudahan pemeliharaan. Pendekatan ini sejalan dengan konsep *waste energy recovery* yang berkelanjutan Berdasarkan sintesis hasil kajian, dapat disimpulkan bahwa pemilihan turbin PLTMH berbasis air buangan pembangkit tidak semata – mata ditentukan oleh nilai efisiensi maksimum, melainkan oleh kesesuaian antara karakteristik head – debit, fleksibilitas operasi, serta kemudahan integrasi dengan sistem buangan eksisting. Dengan demikian, pendekatan pemilihan turbin yang kontekstual menjadi kunci keberhasilan penerapan sistem *energy recovery* pada pembangkit listrik.

IV. KESIMPULAN

Pemanfaatan air buangan pembangkit melalui PLTMH berpotensi menjadi sistem *energy recovery* yang efektif, terutama pada kondisi head rendah hingga menengah dengan debit relatif stabil. Hasil kajian menunjukkan bahwa turbin *Archimedes screw* dan *waterwheel* modern paling sesuai untuk kondisi *very low head*, sedangkan turbin *crossflow* merupakan pilihan paling optimal untuk low head hingga menengah karena efisiensi, fleksibilitas operasi, dan kemudahan implementasinya.

Penelitian lanjutan disarankan difokuskan pada optimasi desain sudu dan konfigurasi aliran turbin *crossflow* dan *Archimedes screw* yang disesuaikan dengan karakteristik air buangan pembangkit. Selain itu, diperlukan kajian eksperimental, simulasi numerik, serta analisis integrasi sistem dan kelayakan ekonomi guna mendukung penerapan PLTMH berbasis air buangan secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Ploetz, Rusdianasari, and Eviliana, "Renewable Energy: Advantages and Disadvantages," *Proceeding Forum in Research, Science, and Technology (FIRST)*, 2016.
- [2] E. Okdinata, A. Hasan, and C. Sitompul, "Performance Test of Pelton Micro-Hydro Turbine with the Variations of Parameter to Produce the Maximum Output Power," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1167, no. 1, p. 012025, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1167/1/012025.
- [3] Y. Dinata, Indrayani, and T. Dewi, "Analysis of Reservoir Water Discharge at Solar Power Plant Tanjung Raja Village as a Basis for Pico Hydro Power Plant Planning in Paddy-Field Area," 2022.
- [4] I. Indrayani, A. Syarif, S. Yusi, M. N. Nugraha, and R. C. Ramadhani, "Utilization of the Kelekar River Flow as Micro-Hydro Power Plant," Atlantis Press, 2022, doi: 10.2991/ahe.k.220205.008.
- [5] R. C. Ramadhani, M. Yerizam, and I. Indrayani, "Analysis of Ogan Ilir Regency's Kelakar River Runoff Discharge in Micro Hydro Power Plant (PLMTH) Planning," *Science and Technology Indonesia*, vol. 5, no. 2, pp. 41–44, 2020, doi: 10.26554/sti.2020.5.2.41-44.
- [6] Indrayani and R. C. Ramadhani, "Design of Microhydro Power Plant Prototype Based on Kelekar River Flow Discharge," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 832, no. 1, p. 012065, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/832/1/012065.
- [7] M. N. Nugraha, R. D. Kusumanto, and Indrayani, "Preliminary Analysis of Mini Portable Hydro Power Plant Using Archimedes Screw Turbine," in *Proc. IC2SE*, 2021, pp. 1–5, doi: 10.1109/IC2SE52832.2021.9791966.
- [8] M. Paish, "Small Hydro Power: Technology and Current Status," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 6, no. 6, pp. 537–556, 2002.
- [9] S. Williamson, B. Stark, and J. Booker, "Low *Head* Pico Hydro Turbine Selection Using a Multi-Criteria Analysis," *Renewable Energy*, vol. 61, pp. 43–50, 2014.
- [10] M. Quaranta and R. Revelli, "Gravity Water Wheels as a Micro Hydropower Energy Source," *Renewable Energy*, vol. 97, pp. 771–779, 2016.
- [11] A. Kaunda, C. Kimambo, and T. Nielsen, "Hydropower in the Context of Sustainable Energy Supply," *Renewable Energy*, vol. 35, no. 8, pp. 1653–1661, 2010.
- [12] S. Sammartano et al., "Cross-Flow Turbine Design for Micro-Hydro Power," *Applied Energy*, vol. 97, pp. 684–692, 2012.
- [13] M. Sinagra et al., "Cross-Flow Turbine Design for Variable Operating Conditions," *Renewable Energy*, vol. 92, pp. 61–69, 2016.
- [14] A. Singh and M. Nestmann, "Experimental Optimization of a Free Vortex Turbine for Low *Head* Micro Hydropower," *Renewable Energy*, vol. 86, pp. 321–331, 2016.
- [15] V. S. Gaur and S. Kumar, "Performance Investigation of Archimedes Screw Turbine," *Energy Reports*, vol. 6, pp. 1950–1961, 2020.
- [16] M. Ho-Yan, *Design of a Low Head Pico Hydro Turbine*, Univ. of British Columbia, 2012.
- [17] G. Boyle, *Renewable Energy: Power for a Sustainable Future*, Oxford Univ. Press, 2012.
- [18] J. Twidell and T. Weir, *Renewable Energy Resources*, 3rd ed., Routledge, 2015.
- [19] M. Quaranta and R. Revelli, "Output Power and Efficiency of Breastshot Water Wheels," *Renewable Energy*, vol. 99, pp. 155–165, 2016.
- [20] International Energy Agency, "Hydropower Special Market Report," IEA, 2021.
- [21] International Electrotechnical Commission, IEC 61400: Wind Turbine Generator Systems – Design Requirements, IEC, 2019.
- [22] A. W. Pratama, F. Arifin, and T. Dewi, "Cross-Flow Turbine Design Using Taguchi Method and CFD Approach," *International Journal of Research in Vocational Studies (IJRVOCAS)*, vol. 3, no. 3, pp. 7–15, 2023.
- [23] A. P. Maulana, "Perancangan dan Analisis Turbin Air Skala Mikro untuk Aplikasi *Head* Sangat Rendah," Undergraduate Thesis, 2022.
- [24] A. F. Fairuzi, Indrayani, and F. Arifin, "Design of Waterwheel Hydropower at Condenser Outfall of Sebalang Power Plant," *International Journal of Science and Research Archive*, vol. 12, no. 2, pp. 577–588, 2024, doi: 10.30574/ijrsra.2024.12.2.1274.