

Utilitas Aliran Air Sungai Mendukung Potensi Ketahanan Energi (*Power Supply*) Skala Mikrohidro di Desa Bedadung Kabupaten Jember

Fawait Afnani^{1*}, Amal Bahariawan², Muhammad Ihsan Alfarizi³, Didik Nurhadi⁴, Ahmad Zainal Abidin⁵

^{1,2,3}D3 Keteknikan Pertanian, Jurusan Teknologi Pertanian, Politeknik Negeri Jember

^{4,5}Laboratorium Kayu & Logam, Jurusan Teknologi Pertanian, Politeknik Negeri Jember

*email: fawait.afnani@polije.ac.id

Abstract. Energy shortages remain a major challenge for remote communities, impacting sustainable economic development. Micro-hydropower plants (PLTMH) utilizing flowing water resources offer an efficient and cost-effective renewable energy solution, especially for small-scale electricity needs (<100 kW). a community-based service research project in Bedadung Village, Jember Regency, examined the application of Archimedes screw turbines in PLTMH with variations in the immersion levels of the waterwheel (0.5 and 0.75 of the wheel diameter) and measurements taken at different time intervals. Simulation results showed that a waterwheel immersion of $\frac{3}{4}$ below the water surface produced an average rotation of 476.27 rpm and a voltage of 12.75 V, which was more optimal for meeting the electricity needs of the local community, particularly in tourist locations and commercial areas. A participatory approach and learning-by-doing methods enhanced community understanding of local resource potential while sustainably building energy and economic self-reliance. This study emphasizes the importance of turbine design adjustments and water resource management for the technical and ecological sustainability of PLTMH in remote areas.

Keywords: Energy, Micro-hydropower, Archimede's Screw, Bedadung River

Abstrak. Kekurangan energi menjadi tantangan utama bagi masyarakat terpencil yang berdampak pada pembangunan ekonomi berkelanjutan. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) dengan sumber daya air mengalir menawarkan solusi energi terbarukan yang efisien dan hemat biaya, khususnya untuk kebutuhan listrik kecil (<100 kW). Penelitian pengabdian masyarakat di Desa Bedadung, Kabupaten Jember, mengkaji penerapan turbin ulir (screw Archimedes) pada PLTMH dengan variasi tingkat ketercelupan kincir air (0,5 dan 0,75 diameter kincir) dan pengukuran selama interval waktu berbeda. Hasil simulasi menunjukkan bahwa ketercelupan kincir air $\frac{3}{4}$ di bawah permukaan air menghasilkan putaran rata-rata 476,27 rpm dan tegangan 12,75 V, lebih optimal untuk

memenuhi kebutuhan listrik masyarakat sekitar, khususnya pada lokasi wisata dan area perdagangan. Pendekatan partisipatif dan metode learning by doing meningkatkan pemahaman masyarakat terhadap potensi sumber daya lokal sekaligus membangun kemandirian energi dan ekonomi yang berkelanjutan. Studi ini menegaskan pentingnya penyesuaian desain turbin dan pengelolaan sumber daya air untuk keberlanjutan teknis dan ekologis PLTMH di daerah terpencil.

Kata Kunci: Energi, Mikrohidro, Screw Archimedes, Sungai Bedadung

1. PENDAHULUAN

Kekurangan energi adalah masalah utama yang dihadapi oleh masyarakat terpencil. Upaya dalam mendukung perekonomian negara berjalan lancar, faktor pentingnya adalah pasokan listrik. Pembangkit energi listrik mandiri dengan sumber daya air merupakan salah satu mekanisme rangkaian pemanfaatan yang dibutuhkan dan efektif untuk menghasilkan energi listrik. Tenaga mikrohidro merupakan sumber daya alami dan esensial untuk menghasilkan listrik dengan cara mengkonversi energi potensial air. Kebutuhan energi listrik yang kecil <100 kW dapat menggunakan konsep penggunaan air yang mengalir untuk memperoleh listrik melalui perputaran kincir air [1]. Pembangkit listrik mikrohidro ini menggunakan lebih sedikit ruang, tahan, dan hemat biaya daripada bahan bakar fosil atau genset (*portable*) [2]. Oleh karena itu, berbagai daerah yang sulit dijangkau namun memiliki potensi sumber daya alam yang variatif membuka solusi bagi pembangunan dan pengembangan pembangkit listrik tenaga mikrohidro [3], [4].

Sejumlah lokasi yang sesuai dan layak serta permintaan listrik untuk kebutuhan masyarakat sekitar telah diidentifikasi sebagai sumber daya listrik skala kecil dengan ketinggian permukaan air (*head*) dan debit air rendah (<3 m). Pembangkit ini terletak di wilayah sistem irigasi persawahan, wisata senja dan karakteristik sungai terdapat beberapa bendungan kecil berkepala rendah ~1 m (*lowhead dam*). Jenis turbin sangat berpengaruh terhadap transformasi koherensi energi dalam air [5]. Untuk itu digunakan turbin yang berdasarkan head tipe ulir (*screw propeller*) Archimedes. Kecepatan aliran sungai di Desa Bedadung antara 6.0-10.0 m/s dengan tingkat kedalaman kincir air yang tercelup dalam air sekitar 17-25 cm.

Pada sebagian wilayah di Desa Bedadung Kabupaten Jember terdapat beberapa aliran sungai kecil yang layak dan sesuai dengan penerapan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH). Salah satu lokasi yang disebut tempat wisata senja dan kereta api mempunyai kebutuhan aliran listrik untuk penerangan. Masyarakat di Desa Bedadung yang berjualan memiliki keterbatasan akan akses ketersediaan aliran listrik. Jika sudah memasuki waktu petang, mereka harus menandalkan penerangan yang tidak efektif dan terbarukan. Padahal ada aliran sungai yang dapat menjadi solusi sebagai sumber daya penerangan ketika matahari terbenam. Permasalahan ini sangat mendasar dan kebutuhan pembangkit tenaga listrik mikrohidro menjadi solusi energi terbarukan agar membangun kemandirian ekonomi secara berkelanjutan [6].

Kegiatan pengabdian ini dilakukan dengan metode simulasi menggunakan 2 variasi (0,5 dan 0,75) tingkat ketercelupan kincir air dari diameternya (3 kali pengulangan). Masing-masing

pengulangan diberlakukan 3 variasi waktu yang berbeda (0, 5, dan 10 menit). Hasil yang diperoleh dapat membantu pemahaman masyarakat tentang pengaruh debit air terhadap tegangan yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan beban yang digunakan. Upaya pemenuhan potensi sumber daya alam dalam menyediakan sumber tenaga listrik tidak hanya membangun kemandirian ekonomi di Kawasan Wisata Senja dan Kereta Api, melainkan juga membentuk karakter masyarakat yang berjujukan tentang kelestarian secara ekologis dan berkelanjutan.

Berdasarkan penelitian menunjukkan bahwa penerapan PLTMH dapat meningkatkan keterjangkauan listrik masyarakat secara signifikan, memperkuat kemandirian energi lokal, serta memberikan dampak positif ekonomi dan sosial [7]. Selain itu, PLTMH memiliki keuntungan secara ekologis karena menambah emisi gas rumah kaca serta relatif ramah lingkungan dibandingkan pembangkit berbahan bakar fosil [8].

Dari sisi teknis, studi juga menunjukkan bahwa efisiensi sistem PLTMH sangat dipengaruhi oleh desain turbin, pemilihan material, dan perawatan berkala. Penggunaan turbin crossflow dan pelton pada mikrohidro banyak diterapkan karena cocok untuk variasi debit air yang ada di daerah perbukitan dan pegunungan[9]. Namun, kendala utama dalam penerapan PLTMH meliputi ketersediaan sumber daya air yang tidak selalu stabil sepanjang tahun, biaya awal investasi yang cukup tinggi, serta kurangnya pemahaman teknis dan dukungan manajemen dari masyarakat lokal [10], [11]. Oleh karena itu, pendekatan partisipatif dan pelatihan teknis sangat dianjurkan untuk memastikan keberlanjutan dan pemeliharaan yang baik.

2. METODE PENGABDIAN

Kegiatan pengabdian masyarakat ini dilaksanakan di Desa Bedadung Kabupaten Jember. Jenis data yang digunakan merupakan data mentah yang didapatkan dari observasi. Pelaksanaan kegiatan dalam pengabdian masyarakat dilakukan dengan pendekatan *learning by doing* dan berbasis proses. Pendekatan ini berfokus pada upaya menemukan solusi atas suatu permasalahan sekaligus memberikan kebebasan kepada masyarakat setempat untuk mengamati atau menerapkan konsep dan taktis alat kincir air. Melalui pendekatan ini, diharapkan masyarakat mampu mengimplementasikan potensi sumber daya mereka secara maksimal.

Metode pelaksanaan yang dilakukan meliputi perencanaan dan persiapan yaitu melakukan perizinan kepada pihak berwenang setempat yaitu Kepala Desa Bedadung dan konsolidasi pemetaan potensi dengan konsep PLTMH. Kegiatan pengabdian ini menekankan pada aktivitas *sharing* penerapan tentang prospek potensi prioritas yaitu lampu penerang skala mikrohidro melalui sumber daya alam aliran air sungai sebagai alternatif sumber energi baru terbarukan. Instrumen yang digunakan dalam kegiatan ini yaitu berupa set turbin air tipe screw Archimedes sebagai teknologi pengubah energi kinetik aliran menjadi energi mekanis pada aliran yang kecil. Sedangkan untuk mengetahui putaran yang dihasilkan kincir air digunakan alat Tachometer Digital DT2234C dan alat pengukur tegangan digunakan Uni-T UT33A+ Digital Multimeter serta motor dan lampu 5 Watt. *Treatment* dari penerapan turbin air ini dilakukan 2 jenis variasi, yaitu sesuai dengan tingkat ketercelupan kincir air (0,5 dan 0,75) dalam air dan pengukuran dilakukan pada 3

variasi waktu (0, 5, dan 10 menit). Hal ini dilakukan untuk memenuhi hasil putaran yang optimum sehingga pada saat instalasi menjadi alternatif tegangan yang digunakan.

Antisipasi akhir dari penerapan adalah evaluasi suku cadang dan perawatan alat. Evaluasi awal melalui pengenalan suku cadang yang banyak di pasaran dan mudah didapatkan. Sedangkan mengenai keberlangsungan dan durabilitas alat lebih banyak tentang perlindungan dari korosi dan aus.

3. HASIL DAN DISKUSI

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini diikuti oleh 55 peserta, terdiri dari 47 laki-laki dan 8 perempuan. Pelaksanaan kegiatan ini dilakukan pada tanggal 02 Mei 2025. Semua peserta terdiri dari masyarakat terdekat dan mahasiswa/I Politeknik Negeri Jember. Ketercapaian pengabdian ini sangat dipengaruhi oleh peran proaktif masyarakat dan terpenuhinya kebutuhan energi listrik. Kegiatan penerapan ini dilakukan di Sungai Bedadung yang menjadi tempat Wisata Senja dan Kereta Api Jl. Raya Bedadung, Gumuk Suda, Bedadung, Kec. Pakusari, Kabupaten Jember, Jawa Timur ($8^{\circ}07'41.9''S$ $113^{\circ}45'47.5''E$). Kegiatan yang dilakukan berupa kegiatan penerapan teknologi pembangkit listrik tenaga mikrohidro yang dapat menjadi lampu penerang bagi masyarakat Desa Bedadung yang berjualan di Wisata Senja dan Kereta Api dengan memanfaatkan sumber daya aliran air sungai. Perlakuan instalasi pada turbin air tipe ulir (*screw Archimedes*) memiliki 2 level pencelupan dalam air (Ukuran *blade* kincir air 20 cm). Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui pemahaman dan kesesuaian kebutuhan tegangan yang diperoleh dengan beban output lampu yang digunakan. Pelaksanaan pengabdian ini berupa praktek dan simulasi di titik lokasi yang telah ditentukan **Gambar 1**. Lokasi yang menjadi tempat dilakukan penerapan teknologi pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Sungai ini menjadi bagian dari Wisata Senja dan Kereta Api. Saat sore hari menjelang petang banyak wisatawan lokal menghabiskan waktu menikmati pemandangan matahari terbenam dan sesekali melintas kereta api membelah area persawahan. Aliran sungai yang cukup deras menambah potensi untuk membangun perekonomian masyarakat untuk mencapai swasembada di daerah tersebut bagi para pedagang asongan. Instalasi PLTMH menjadi daya tarik signifikan untuk menunjang ketersediaan listrik bagi para pedagang asongan agar tetap melestarikan keberlangsungan lingkungan.



Gambar 1. Lokasi Penerapan Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Teknologi pembangkit listrik tenaga mikrohidro mempunyai komponen utama yang vital untuk diterapkan yaitu kincir air, motor (dinamo), dan generator seperti terlihat pada **Gambar 2** tentang teknologi pembangkit listrik tenaga mikrohidro tipe ulir (*Screw Archimedes*). Komponen utama ini saat simulasi menjadi topik dalam pengenalan alat, pengoperasian, dan cara pemeliharaan. Prinsip kerja pada PLTMH adalah kesinambungan beda ketinggian dan jumlah air yang jatuh (debit) per detik yang ada di aliran sungai dengan pengkondisian pipa saluran untuk menggerakkan kincir ulir.



Gambar 2. Turbin Air Tipe *Screw* ARCHIMEDES

Saat energi potensial air menyebabkan energi kinetik berbentuk putaran kincir ulir, energi ini dikonversi menjadi energi mekanik oleh generator (dinamo) untuk menghasilkan energi listrik. Pada simulasi dilakukan pengoperasian PLTMH dengan cara memasang kincir air dengan ketinggian berbeda pada permukaan air seperti terlihat pada **Gambar 3**. Kecepatan arus air dipermukaan tidak lebih besar daripada kecepatan arus air yang ada di dalam sungai. Hal tersebut menghasilkan perputaran kincir air signifikan. Oleh karena itu, ketercelupan kincir air $\frac{3}{4}$ di bawah permukaan air menghasilkan perputaran kincir (*rotation per minute, rpm*) air lebih cepat dibandingkan dengan yang ketercelupannya $\frac{1}{2}$ di bawah permukaan air [12].

Pada variasi ketercelupan kincir air ini membantu masyarakat dalam hal *transfer of knowledge* tentang perubahan arus yang berdampak pada tegangan listrik yang diperoleh dan disesuaikan dengan beban yang akan digunakan. Namun, karena sungai tersebut penggunaannya bukan hanya sebagai sumber mata air melainkan juga diperuntukkan sistem irigasi, maka kendala yang dihadapi adalah surutnya aliran air akibat pengalihan aliran hulu untuk pengairan persawahan. Jadi, manajemen waktu dibutuhkan dalam mengatasi kendala tersebut agar potensi sumber daya alam bisa bermanfaat bagi semua lapisan masyarakat [13].



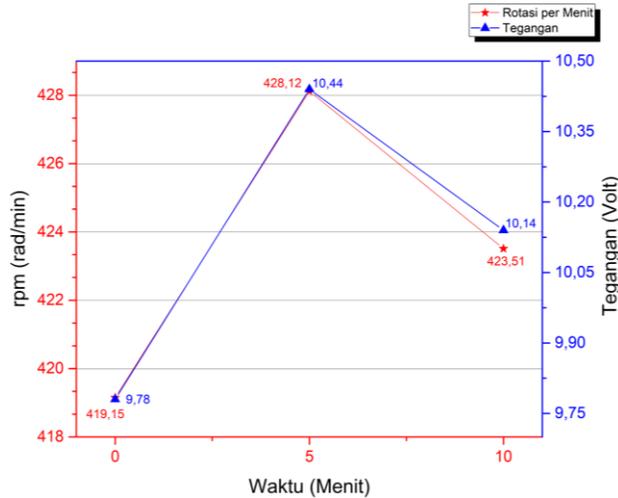
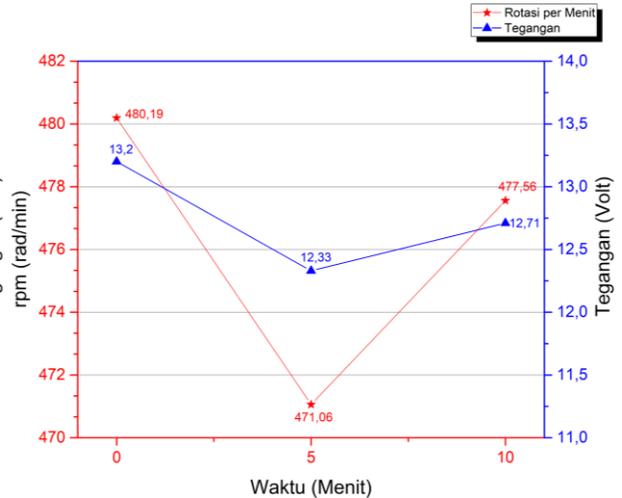
Gambar 3. Simulasi Instalasi dan Pengukuran Tegangan



Gambar 4. Beban Lampu Menyala

Hasil simulasi diperoleh pada level celup $\frac{1}{2}$ kincir air di bawah permukaan air menunjukkan bahwa dari 3 variasi nilai waktu dengan kenaikan setiap 5 menit diperoleh rpm paling tinggi sebesar 428,12 rotasi per menit dan hasil pengukuran tegangan diperoleh sebesar 10,44 V. Pada **Gambar 5** menunjukkan bahwa nilai kecepatan putaran pada kincir air mempengaruhi nilai tegangan yang dihasilkan, namun fluktuasi nilai terjadi karena adanya perbedaan debit air yang mengalir saat dilakukan pengukuran. Sedangkan hasil simulasi juga diperoleh pada level celup $\frac{3}{4}$ kincir air di bawah permukaan air menunjukkan bahwa dari 3 variasi nilai waktu diperoleh rpm paling tinggi sebesar 480,19 rotasi per menit dan hasil pengukuran tegangan diperoleh sebesar 13,20 V. Pada **Gambar 6** menunjukkan bahwa juga terjadi fluktuasi nilai tegangan dan rpm. Namun dari 2 simulasi dengan nilai tertinggi pada tegangan dan rpm yang diperoleh menunjukkan fenomena nilai yang berbanding lurus antara energi kinetik dan energi listrik (seperti terlihat pada **Gambar 4** hasil tegangan mampu menghidup lampu 10 Watt).

Jika pada kedua grafik dihitung nilai rata-rata pada level celup $\frac{1}{2}$ kincir air di bawah permukaan air maka diperoleh nilai rpm sebesar 423,6 rotasi per menit dan nilai tegangan sebesar 10,12 V. Sedangkan nilai rata-rata pada level celup $\frac{3}{4}$ kincir air di bawah permukaan air diperoleh nilai rpm sebesar 476,27 rotasi per menit dan nilai tegangan sebesar 12,75 V. Hal ini menunjukkan bahwa bukan hanya perbandingan yang lurus antara nilai rpm dan tegangan tetapi juga level celup $\frac{3}{4}$ di bawah permukaan air lebih besar pengaruhnya terhadap tegangan yang dihasilkan [12]. Oleh karena itu, dapat disimpulkan rekomendasi instalasi kincir air tipe ulir (*screw Archimedes*) dilakukan dengan cara mencelupkan kincir air di bawah permukaan air sebesar $\frac{3}{4}$ dari diameter kincir air. Hanya saja, fluktuasi debit air yang mengalir sangat tidak terkontrol sehingga mempengaruhi kemampuan generator dalam menghasilkan energi listrik. Pada dasarnya dengan adanya simulasi ini pada masyarakat setempat dapat menjadi rujukan dan aktualisasi dalam mewujudkan desa mandiri melalui Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).

Gambar 5. Level $\frac{1}{2}$ Celup Kincir AirGambar 6. Level $\frac{3}{4}$ Celup Kincir Air

3.1 Rencana Tindaklanjut

Setelah kegiatan pengabdian selesai dilaksanakan, langkah-langkah berikutnya akan dilakukan untuk memastikan hasil yang telah dicapai dapat diterapkan secara berkelanjutan. Rencana tahapan berikutnya meliputi:

- Pengumpulan dan Analisis Data: Tim penyelenggara akan mengumpulkan data hasil penerapan instalasi PLTMH. Data ini akan dianalisis untuk mengevaluasi sejauh mana peningkatan efisiensi masyarakat dengan adanya teknologi pembangkit listrik tenaga mikrohidro.
- Tindak Lanjut Individu: Setelah hasil evaluasi diperoleh, akan dilakukan tindak lanjut individu terhadap peserta yang masih memerlukan penguatan pemahaman atau bantuan lebih lanjut dalam hal teknis teknologi dan cara perawatan.
- Kolaborasi dengan Pihak Eksternal: Tim penyelenggara akan mencari dukungan dari pihak eksternal seperti donatur dan investor atau pemerintah setempat untuk melanjutkan program pemanfaatan sumber daya alam sebagai pembangkit. Dukungan ini dapat berupa instalasi, sosialisasi, dan rancangan alat.
- Penerapan kepada Masyarakat sekitar: Berdasarkan hasil positif yang telah dicapai, pengabdian tentang pembangkit listrik tenaga mikrohidro dapat diperluas kepada masyarakat desa lain yang belum menerapkan.
- Pembentukan Kelompok Kesehatan Gigi: Sekolah dapat membentuk kelompok atau klub kesehatan gigi di antara siswa untuk terus mengingatkan dan mendukung satu sama lain dalam menerapkan perilaku hidup sehat terkait kesehatan gigi. Kelompok ini dapat mengadakan kegiatan-kegiatan edukatif dan menyenangkan terkait kesehatan gigi.
- Membuat Bahan Edukasi Tambahan: Tim penyelenggara dapat membuat bahan edukasi tambahan seperti poster, video, atau materi edukatif lainnya yang dapat digunakan dalam kampanye potensi sumber daya alam sebagai alternatif pembangkit listrik.

- g. Evaluasi Berkala: Program pembangkit listrik tenaga mikrohidro perlu dievaluasi secara berkala untuk memastikan keberhasilan dan efektivitasnya. Evaluasi ini dapat dilakukan setiap semester atau tahun untuk merencanakan langkah-langkah perbaikan jika diperlukan.

Dengan melaksanakan rencana tahapan berikutnya ini, diharapkan program pembangkit listrik tenaga mikrohidro dapat berjalan secara berkesinambungan dan memberikan manfaat yang nyata bagi masyarakat dengan potensi alam yang melimpah tanpa mengeksploitasi kelestarian lingkungan.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari pelaksanaan kegiatan pengabdian masyarakat ini adalah metode simulasi yang digunakan pada pelaksanaan ini telah mampu meningkatkan pemahaman masyarakat Desa Bedadung Kabupaten Jember tentang potensi sumber daya alam sebagai alternatif pembangkit listrik tenaga mikrohidro dan membangun kesadaran kemandirian ekonomi secara berkelanjutan dalam melestarikan lingkungan. Pengabdian ini juga dapat menunjukkan demo cara instalasi, pengoperasian, perawatan teknologi pembangkit listrik tenaga mikrohidro tipe ulir (*screw* Archimedes). Animo dan antusias masyarakat setempat dalam kegiatan ini menghasilkan rekomendasi dalam pemasangan dengan menyesuaikan karakteristik aliran sungai (debit air). Rekomendasi tersebut berupa tingkat ketercelupan kincir air $\frac{3}{4}$ bagian di bawah permukaan air dari diameter kincir air dengan hasil nilai rata-rata rpm sebesar 476,27 rotasi per menit dan nilai tegangan sebesar 12,75 V.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat jenderal ketenagalistrikan, "Statistik Ketenagalistrikan Tahun 2020," 34th ed., 2021. Accessed: May 26, 2025. [Online]. Available: https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/8f7e7-20211110-statistik-2020-rev03.pdf
- [2] O Paish, "Micro-hydropower: Status and prospects," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, vol. 216, no. 1, pp. 31–40, Feb. 2002, doi: 10.1243/095765002760024827.
- [3] A. A. Solikah and B. Bramastia, "Systematic Literature Review : Kajian Potensi dan Pemanfaatan Sumber Daya Energi Baru dan Terbarukan Di Indonesia," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 5, no. 1, pp. 27–43, Mar. 2024, doi: 10.14710/jebt.2024.21742.
- [4] L. Tria Melati, I. Supriyadi, and Y. Ali, "Strategi Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Air Mini/Mikro Hidro di Indonesia," *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 6, no. 2, pp. 91–99, Jun. 2022, doi: 10.33379/gtech.v6i2.1319.
- [5] C. P. Jawahar and P. A. Michael, "A review on turbines for micro hydro power plant," 2017, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.rser.2017.01.133.

- [6] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, “Statistik Ketenagalistrikan Tahun 2019,” 33rd ed., 2019. Accessed: May 26, 2025. [Online]. Available: https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/96d7c-nilai-fe-grk-sistem-ketenagalistrikan-tahun-2019.pdf
- [7] R. Asmaranto, D. Widhiyanuriyawan, and M. Purnomo, “PENGUATAN WILAYAH BINAAN MANDIRI ENERGI MELALUI PENINGKATAN KAPASITAS MIKROHIDRO DI DAERAH TERPENCIL.”
- [8] S. Kasus *et al.*, “Efektivitas pembangkit listrik tenaga mikrohidro sebagai penyedia energi baru terbarukan berbasis komunitas,” *SEESDGJ*, vol. 1, no. 1, pp. 63–77, 2023, doi: 10.61511/seesdgj.v1.
- [9] M. Alfin As, P. Jannus, and A. Ulfiana, “Potensi Hybrid Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Turbin Crossflow dan Turbin Archimedes,” 2021. [Online]. Available: <http://prosiding.pnj.ac.id>
- [10] N. B. Alnavis, R. R. Wirawan, K. I. Solihah, and V. H. Nugroho, “Energi listrik berkelanjutan: Potensi dan tantangan penyediaan energi listrik di Indonesia,” *Journal of Innovation Materials, Energy, and Sustainable Engineering*, vol. 1, no. 2, Jan. 2024, doi: 10.61511/jimese.v1i2.2024.544.
- [11] R. A. Aprilianto and R. M. Ariefianto, “Peluang Dan Tantangan Menuju Net Zero Emission (NZE) Menggunakan Variable Renewable Energy (VRE) Pada Sistem Ketenagalistrikan Di Indonesia.” [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/357448042>
- [12] T. Ishikawa and S. Miura, “Influence of moving wheel loads on mechanical behavior of submerged granular roadbed,” *Soils and Foundations*, vol. 55, no. 2, pp. 242–257, Apr. 2015, doi: 10.1016/j.sandf.2015.02.002.
- [13] M. Pérez-Sánchez, F. J. Sánchez-Romero, H. M. Ramos, and P. A. López-Jiménez, “Optimization strategy for improving the energy efficiency of irrigation systems by micro hydropower: Practical application,” *Water (Switzerland)*, vol. 9, no. 10, Oct. 2017, doi: 10.3390/w9100799.