



Perancangan dan Implementasi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) untuk Mendukung Ketersediaan Energi Berkelanjutan di Kampung 17, Desa Batulawang, Jawa Barat

Muhammad Zaidan Taftazani^{1*}, Surya Chandra Kusuma², Benedictus Dimas Cahyo Priastono³, Tsabit Arasyid⁴, Firman Alfarisi⁵, Sigit Hermawan⁶, Marsya Royani Jannah⁷, Muhammad Ridwan⁸

¹⁻⁸ Institut Teknologi PLN, Indonesia

Email: zaidan2312003@itpln.ac.id^{1*}, surya2312049@itpln.ac.id², benedictus2312080@itpln.ac.id³, tsabit2312076@itpln.ac.id⁴, firman2312017@itpln.ac.id⁵, sigit2312065@itpln.ac.id⁶, marsya2312012@itpln.ac.id⁷, m.ridwan@itpln.ac.id⁸

*Penulis Korespondensi: zaidan2312003@itpln.ac.id¹

Riwayat Artikel:

Naskah Masuk: 17 Oktober 2025;

Revisi: 31 Oktober 2025;

Diterima: 14 November 2025;

Terbit: 28 November 2025

Keywords: Batulawang Village; Energy Independence; Kampung 17; Micro Hydropower Plant; Sustainable Energy.

Abstract. Micro-Hydro Power Plant (MHPP) is a renewable energy solution suitable for remote rural areas with river flow availability. This study was carried out in Kampung 17, Batulawang Village, West Java, through the Community Service Program of HMM ITPLN, by designing and implementing a simplified MHPP system. The analysis indicates a hydraulic power potential of 1.511 kW with an effective head of 3.08 m and a discharge of 0.005 m³/s. Of this potential, the maximum utilized power reached 1.108 kW, equivalent to 73.32% of hydraulic energy utilization. The system is capable of producing approximately 26.6 kWh per day or around 798 kWh per month, matching the total demand of 12 households and one mosque in Kampung 17. If this demand were supplied by the national grid (PLN) under the R-1/TR 1300 VA category at Rp1,444.70 per kWh, the monthly cost would amount to approximately Rp1,152,870. Hence, the MHPP enables annual savings of around Rp13.8 million while ensuring local energy independence.

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) menjadi alternatif solusi energi terbarukan yang sesuai untuk daerah pedesaan terpencil dengan ketersediaan aliran sungai. Penelitian ini dilakukan di Kampung 17, Desa Batulawang, Jawa Barat, melalui kegiatan Pengabdian Masyarakat HMM ITPLN dengan merancang dan mengimplementasikan sistem PLTMH sederhana. Hasil analisis menunjukkan potensi daya hidrolis sebesar 1,511 kW dengan head efektif 3,08 m dan debit 0,005 m³/s. Dari nilai tersebut, daya maksimum yang dapat dimanfaatkan warga mencapai 1,108 kW atau setara dengan 73,32% pemanfaatan energi hidrolis. Sistem ini mampu menghasilkan energi listrik sekitar 26,6 kWh per hari atau ±798 kWh per bulan, yang sebanding dengan kebutuhan total 12 rumah tangga dan 1 masjid di Kampung 17. Jika listrik dipasok dari jaringan PLN dengan tarif golongan R-1/TR 1300 VA sebesar Rp1.444,70/kWh, maka biaya bulanan mencapai ±Rp1.152.870. Oleh karena itu, keberadaan PLTMH memberikan penghematan sebesar Rp13,8 juta per tahun sekaligus mendukung kemandirian energi masyarakat.

Kata kunci: Desa 17; Desa Batulawang; Energi Berkelanjutan; Kemandirian Energi; Pembangkit Listrik Tenaga Air Mikro.

1. PENDAHULUAN

Energi terbarukan menjadi pusat dalam mewujudkan sistem energi global yang terdekarbonisasi, tangguh, dan sejahtera. Tidak hanya berperan dalam mengurangi emisi gas rumah kaca yang menjadi penyebab utama perubahan iklim, energi terbarukan juga meningkatkan keamanan energi dengan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang harganya fluktuatif dan pasokannya terbatas. Menurut *Renewables 2024 Global Status Report* dari REN21, (2024), pemanfaatan energi terbarukan berkontribusi pada penciptaan lapangan kerja baru di berbagai sektor, mulai dari manufaktur, konstruksi, hingga pemeliharaan teknologi hijau, serta mendorong lahirnya inovasi dalam bidang teknologi energi bersih yang dapat mempercepat transformasi menuju pembangunan berkelanjutan.

Menurut Indah & Rarasati, (2020), Indonesia telah berhasil melampaui target rasio elektrifikasi pada akhir tahun 2018. Hal ini menunjukkan bahwa jangkauan layanan listrik di Indonesia terus bertambah dari waktu ke waktu. Peningkatan tersebut tidak terlepas dari program Listrik Pedesaan (LisDes) yang digagas pemerintah sejak tahun 2016, yang bertujuan untuk mencapai rasio elektrifikasi 100% pada tahun 2020. Meskipun demikian, masih terdapat sekitar 2.510 desa yang belum teraliri listrik, sehingga upaya untuk memperluas akses energi listrik tetap menjadi tantangan, terutama di wilayah terpencil dan kepulauan.

Meskipun jangkauan layanan listrik di Indonesia terus bertambah, masih terdapat banyak daerah terpencil yang belum terhubung dengan jaringan listrik nasional. Salah satu contohnya adalah Kampung 17 di Desa Batulawang, Provinsi Jawa Barat, yang hingga kini belum mendapatkan akses listrik yang memadai. Untuk mengatasi permasalahan ini, masyarakat setempat telah membangun kincir air sederhana sebagai alternatif sumber listrik. Namun, kapasitas kincir air tersebut masih terbatas dan hanya mampu menyalakan beberapa lampu yang sering kali redup atau berkedip, yang membatasi berbagai aktivitas sehari-hari masyarakat. Sebagai solusi untuk daerah terpencil dengan kondisi geografis yang sulit, sistem energi terbarukan berbasis mikrohidro dapat menjadi pilihan yang lebih efektif (Firdaus & Suyanto, 2020). Sebuah penelitian menunjukkan bahwa penerapan energi terbarukan seperti mikrohidro di daerah yang tidak terjangkau PLN, seperti Desa Batulawang, dapat membantu memenuhi kebutuhan energi secara mandiri (Riani & Suryadi, 2021). Selain itu, meskipun kapasitas kincir air yang ada terbatas, teknologi serupa dapat dikembangkan lebih lanjut untuk meningkatkan kemandirian energi di desa-desa terpencil (Putra & Saputra, 2019). Oleh karena itu, penting untuk mencari solusi energi yang lebih berkelanjutan, andal, dan sesuai dengan kondisi geografis serta sosial ekonomi daerah tersebut.

Dalam konteks tersebut, kami menginisiasi upaya pemerataan akses energi listrik dengan tujuan membangun sebuah pembangkit listrik di Kampung 17 melalui kegiatan Pengabdian Masyarakat yang diselenggarakan oleh Himpunan Mahasiswa Mesin IT-PLN pada tahun 2025. Pembangunan ini diharapkan mampu memenuhi kebutuhan dasar energi masyarakat, meningkatkan kualitas hidup warga, serta mendorong terciptanya kemandirian energi yang berkelanjutan di tingkat desa. Pembangkit Listrik Tenaga Air dengan skala mikrohidro atau PLTMH dipandang sebagai solusi yang paling tepat bagi Kampung 17 karena dapat memanfaatkan potensi sumber daya air yang tersedia di sekitarnya, khususnya aliran sungai yang selama ini sudah dimanfaatkan warga sebagai sumber energi melalui kincir air sederhana. Teknologi ini tidak hanya ramah lingkungan karena hampir tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca, tetapi juga sesuai untuk kebutuhan masyarakat pedesaan dengan sistem operasional dan perawatan yang relatif sederhana. Dibandingkan dengan energi terbarukan lain seperti tenaga surya atau angin, PLT lebih sesuai untuk skala desa di Indonesia yang banyak memiliki aliran sungai dan potensi air. Dengan demikian, PLTMH menawarkan pilihan yang layak secara teknis sekaligus relevan secara sosial dan lingkungan sebagai sumber energi berkelanjutan bagi masyarakat Kampung 17.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Kapasitas Pembangkitan dan Kebutuhan Daya Kampung 17

Menurut (Wie & Agung, 2018), pembangkit listrik tenaga air secara umum dikategorikan ke dalam beberapa golongan berdasarkan kapasitas daya yang mampu dihasilkannya. Klasifikasi ini penting untuk membedakan skala penerapan teknologi, mulai dari skala sangat kecil yang sesuai untuk kebutuhan rumah tangga atau desa terpencil, hingga skala yang lebih besar untuk kebutuhan komunal atau wilayah yang lebih luas. Adapun pembagian tersebut dapat dilihat secara lebih jelas pada tabel berikut.

Tabel 1. Jenis-jenis PLTA Berdasarkan Kapasitas Pembangkitannya.

No.	Nama Pembangkit Listrik Tenaga Air	Kapasitas Pembangkitan Daya
1	Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro	< 0,5 kW
2	Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro	0,5 kW – 100 kW
3	Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro	100 kW – 1 MW
4	Pembangkit Listrik Tenaga Air Skala Kecil	1 MW – 10 MW
5	Pembangkit Listrik Tenaga Air Skala Besar	> 10 MW

Untuk merealisasikan tujuan pemerataan akses energi listrik, diperlukan data yang akurat mengenai kebutuhan daya listrik di Kampung 17. Saat ini, terdapat 12 rumah tangga dan 1 masjid yang membutuhkan pasokan listrik untuk menunjang aktivitas sehari-hari, seperti penerangan, serta penggunaan peralatan rumah tangga lainnya. Kebutuhan daya

tersebut disajikan pada tabel berikut sebagai dasar pertimbangan pemilihan PLTA skala mikrohidro.

Tabel 2. Estimasi Kebutuhan Daya Listrik di Kampung 17.

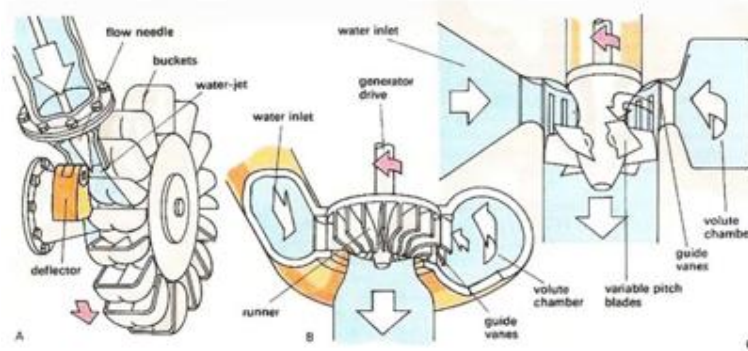
No.	Unit	Jumlah Unit	Perangkat	Jumlah Perangkat / Unit	Daya	Total Daya
1	Rumah	12	Lampu	1	144 W	1004 W
			Outlet Listrik	1	960 W	
2	Masjid	1	Lampu	2	24 W	104 W
			Outlet Listrik	1	80 W	
Total Estimasi Kebutuhan Daya					1108 W	
Estimasi Kebutuhan Listrik Harian					26,6 kWh / hari	

Dengan mempertimbangkan total estimasi kebutuhan listrik masyarakat Kampung 17 yang relatif kecil di angka 1108 W atau 1,108 kW dan masih bersifat dasar di mana per harinya memerlukan 26,6 kWh, maka pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Air skala Mikrohidro (PLTMH) dipandang sebagai pilihan yang paling sesuai. Skala kapasitas PLTMH sejalan dengan kebutuhan energi di tingkat rumah tangga sehingga penerapannya dinilai lebih efisien dibandingkan dengan kategori PLTA lainnya.

Prinsip dan Klasifikasi Turbin pada PLTMH

Turbin pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro berfungsi sebagai komponen utama yang mengubah energi potensial maupun energi kinetik dari aliran air menjadi energi mekanik berupa putaran poros. Prinsip kerjanya didasarkan pada pemanfaatan perbedaan ketinggian (*head*) dan debit air yang dialirkan sehingga mampu menghasilkan gaya untuk memutar sudu-sudu turbin. Energi mekanik dari putaran poros turbin dikonversi menjadi energi listrik. Dengan demikian, turbin berperan sebagai penghubung vital antara sumber energi air dengan proses pembangkitan listrik pada sistem mikrohidro (Rashi Sahay & Swamy TN, 2024).

Berdasarkan prinsip kerjanya, menurut Daily et al., (2021), turbin dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis utama, yaitu turbin impuls dan turbin reaksi. Turbin impuls bekerja dengan memanfaatkan energi kinetik fluida, di mana aliran air berkecepatan tinggi dari nozel menumbuk sudu turbin dan mengubah energi kinetik tersebut menjadi energi mekanik pada poros, dengan tekanan fluida tetap konstan saat melewati sudu. Sebaliknya, turbin reaksi memanfaatkan kombinasi energi tekanan dan energi kinetik fluida, di mana perubahan tekanan terjadi ketika fluida mengalir melalui sudu, sehingga menghasilkan gaya angkat yang mendorong putaran poros turbin.

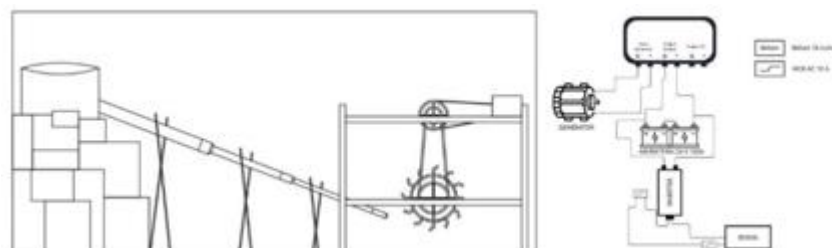


Gambar 1. Gambar Skematis Turbin Impuls dan Reaksi (Sumber: Ko, 2020).

Penelitian Terdahulu sebagai Landasan Kajian

Penelitian mengenai pemanfaatan energi terbarukan, khususnya Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), telah banyak dilakukan di Indonesia sebagai alternatif penyediaan listrik bagi daerah yang belum terjangkau jaringan PLN. Salah satu penelitian tersebut dilakukan oleh Adhynata et al., (2025) dalam kegiatan pengabdian masyarakat berjudul *Providing Clean Energy with Micro Hydro Power Plants (PLTMH) for Babakan Village, Banten*), yang menyoroti dampak nyata pembangunan PLTMH skala kecil terhadap peningkatan kesejahteraan masyarakat.

Penelitian tersebut berlokasi di Desa Babakan, Kabupaten Bogor, di mana sebagian besar rumah masih belum memiliki akses listrik dari PLN. Melalui survei debit air dan tinggi jatuh (*head*), tim peneliti merancang sistem PLTMH sederhana dengan menggunakan turbin semi-pelton dan generator berkapasitas 2 kW. Hasil uji coba menunjukkan bahwa sistem ini mampu menghasilkan daya listrik stabil sekitar 1,28 kW yang digunakan untuk memasok listrik ke 18 rumah. Penerapan PLTMH tersebut tidak hanya menghadirkan sumber energi yang berkelanjutan, tetapi juga memberikan dampak sosial yang signifikan, seperti meningkatnya akses cahaya pada malam hari, mendukung proses belajar anak-anak, serta membantu keberlangsungan usaha rumah tangga.



Gambar 2. Desain Skematis PLTMH Penelitian Terdahulu.

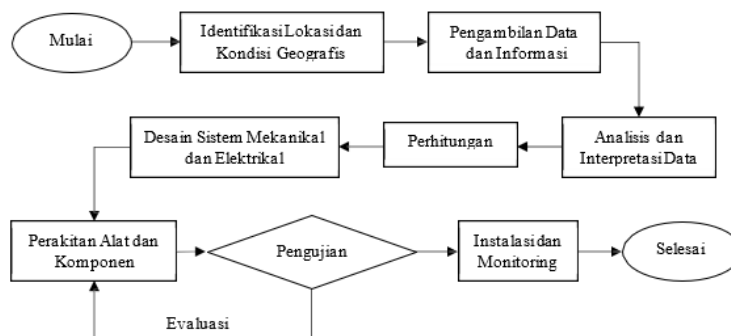
3. METODOLOGI

Tim peneliti yang terdiri dari mahasiswa Teknik Mesin IT-PLN melaksanakan

kegiatan pengabdian masyarakat di Kampung 17, Desa Batulawang, Kecamatan Cipanas, Kabupaten Cianjur. Kampung 17 yang dihuni 12 keluarga ini belum mendapatkan akses jaringan listrik dari PLN. Ketersediaan listrik di Kampung 17 masih terbatas pada penerangan lampu LED berdaya rendah yang bergantung pada PLTMH sederhana buatan warga dari bahan seadanya. Padahal, daerah ini memiliki potensi besar untuk pengembangan PLTMH karena ketersediaan sumber air, perbedaan elevasi, dan kondisi geografis yang mendukung.

Sistematis Perancangan

Dalam perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), diperlukan perencanaan tahapan yang disusun secara sistematis agar setiap langkah yang dilakukan memiliki arah dan tujuan yang jelas. Penyusunan tahapan secara terstruktur berfungsi untuk memastikan bahwa seluruh proses, mulai dari survei lokasi hingga pengujian alat, dapat dilaksanakan secara runtut, efisien, dan saling berkesinambungan. Dengan adanya sistematis perancangan, potensi kesalahan dalam pengambilan keputusan teknis dapat diminimalisasi, waktu dan sumber daya dapat digunakan secara lebih efektif, serta hasil akhir yang dicapai dapat sesuai dengan tujuan penelitian maupun kebutuhan masyarakat. Rangkaian tahapan perancangan tersebut digambarkan secara ringkas dalam bentuk diagram alir berikut.



Gambar 3. Diagram Alir Sistematis Perancangan.

Kondisi Geografis Potensial di Kampung 17

Kampung 17 terletak di kawasan puncak pegunungan yang dikelilingi oleh perkebunan serta aliran sungai. Salah satu sungai yang berjarak sekitar ± 180 m dari pemukiman warga memiliki potensi paling signifikan untuk dijadikan lokasi pembangunan PLTMH. Hal ini didukung oleh kondisi debit air yang memadai serta karakteristik lingkungan yang memungkinkan pembangunan bak penenang serta bendungan air di area tersebut.



Gambar 4. Kondisi Awal Area Potensial PLTMH di Kampung 17.



Gambar 5. Kondisi Awal Bak Penenang.

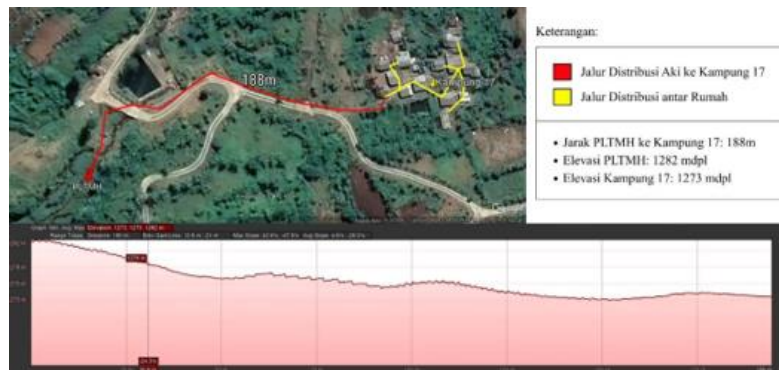
Selain itu, di lokasi tersebut terdapat sebuah bak penenang berbahan beton yang hingga saat ini belum dimanfaatkan oleh warga sekitar yang terdapat pada gambar di atas. Struktur tersebut berpotensi untuk digunakan kembali sebagai bak penenang utama dalam perencanaan sistem PLTMH. Dengan tersedianya aliran air yang stabil serta keberadaan bak penenang yang belum dimanfaatkan tersebut, maka lokasi ini dinilai memiliki kondisi yang sangat mendukung untuk pengembangan PLTMH secara berkelanjutan.

Perencanaan Teknis Instalasi PLTMH

Sungai yang terletak sekitar ± 180 m dari permukiman dipilih sebagai sumber utama aliran air karena memiliki debit yang stabil serta kondisi lingkungan yang memungkinkan pembangunan bendungan. Air dari sungai dialirkan menuju bak penenang berbahan beton yang telah tersedia di lokasi dan dapat difungsikan kembali sebagai reservoir. Untuk mendukung pembangunan dan pemeliharaan sistem, jalur akses menuju lokasi instalasi juga direncanakan agar mempermudah mobilisasi peralatan maupun tenaga kerja. Tata letak teknis dari keseluruhan instalasi PLTMH ditunjukkan sebagai berikut.



Gambar 6. Skema Teknis Instalasi PLTMH.



Gambar 7. Jalur Distribusi Listrik PLTMH-Kampung 17.

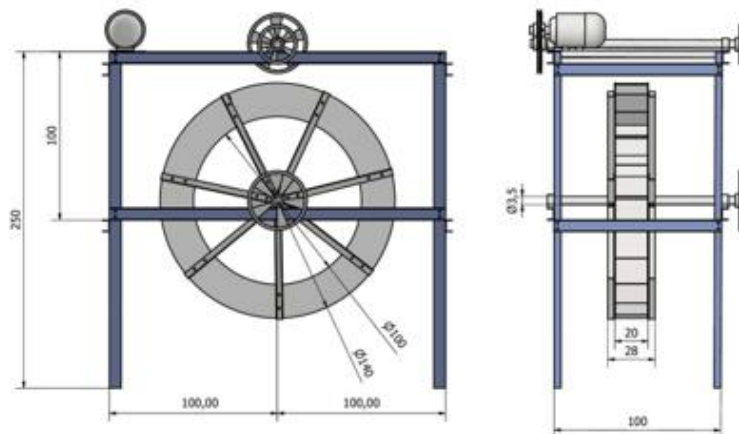
Rancangan teknis instalasi PLTMH terdiri atas saluran air masuk, bak penenang, pipa pesat, serta turbin yang terhubung dengan generator sebagai konversi energi mekanik menjadi energi listrik. Rangkaian ini menggambarkan secara sistematis alur pemanfaatan potensi energi air hingga menghasilkan energi listrik yang siap disalurkan.

Desain PLTMH

Desain PLTMH disusun berdasarkan hasil survei dan analisis data yang diperoleh dari kondisi lapangan. Tahap ini mencakup perancangan sistem mekanikal dan elektrikal yang disesuaikan dengan potensi energi air serta kebutuhan daya warga Kampung 17.

Desain dan Manufaktur Turbin

Turbin pelton dipilih sebagai prinsip turbin pada desain PLTMH karena menurut Ge et al., (2023), turbin pelton dikategorikan sebagai turbin impuls yang sangat sesuai diaplikasikan pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) di wilayah pegunungan, karena mampu beroperasi optimal pada kondisi dengan tinggi jatuh air (*head*) yang besar dan tekanan hidrolik yang tinggi. Dengan mempertimbangkan karakteristik tersebut, desain turbin yang digunakan dalam penelitian ini disusun sebagai berikut.



Gambar 8. Desain Turbin pada PLTMH.

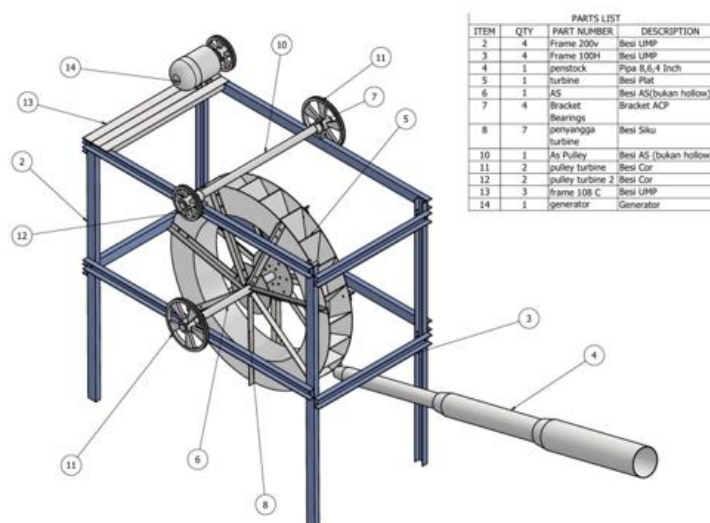


Gambar 9. Proses Manufaktur Turbin PLTMH.

Desain turbin Pelton yang digunakan dalam penelitian ini tidak sepenuhnya mengikuti bentuk standar yang umumnya dibuat dengan profil sudu melengkung presisi dan mangkuk ganda (double-cup) untuk memaksimalkan perubahan arah aliran air hingga mendekati 180° (Kumashiro et al., 2016). Bentuk turbin yang dihasilkan lebih sederhana dengan sudu yang tidak sepenuhnya simetris dan kedalaman mangkuk yang lebih dangkal akibat keterbatasan proses manufaktur dan peralatan. Kondisi ini menyebabkan aliran air tidak sepenuhnya terdefleksi secara optimal, sehingga efisiensi hidrolis turbin lebih rendah dibandingkan dengan desain Pelton komersial yang dibuat dengan teknik pengecoran atau pemesinan presisi.

Desain dan Manufaktur Rangka (Frame)

Kinerja PLTMH sangat dipengaruhi oleh efektivitas struktur rangka dalam menopang beban turbin serta menahan tekanan yang ditimbulkan oleh aliran keluaran air dari *penstock*. Rangka pada sistem PLTMH ini menggunakan baja yang dirancang secara khusus agar mampu berfungsi sebagai penopang utama sekaligus badan dari instalasi PLTMH. Adapun rancangan strukturnya disajikan sebagai berikut.



Gambar 10. Desain PLTMH.



Gambar 11. Proses Manufaktur Rangka PLTMH.



Gambar 12. Proses Assembly PLTMH.

Instalasi Pipa Pesat (Penstock)

Penstock utama menggunakan pipa tipe AW dengan diameter 6 inci (outer diameter 165 mm) sepanjang 30 meter. Pipa tersebut berfungsi sebagai saluran utama yang menyalurkan air dari bak penenang menuju turbin dengan tetap menjaga tekanan hidrolik sepanjang lintasan. Untuk meningkatkan kecepatan aliran pada saat memasuki turbin, pada ujung *penstock* dilakukan pengecilan menggunakan pipa berdiameter 4 inci dengan panjang 2 meter. Desain pengecilan ini bertujuan untuk mengurangi luas penampang sehingga energi potensial air dapat dikonversi menjadi energi kinetik dengan kecepatan aliran yang lebih tinggi. Selanjutnya, *penstock* dilengkapi dengan nozel berukuran 4 inci ke 3 inci yang berfungsi sebagai pengarah jet air menuju sudu turbin. Penggunaan nozel ini tidak hanya mengoptimalkan arah semburan air, tetapi juga meningkatkan efisiensi transfer energi dari aliran air ke turbin impuls yang digunakan.



Gambar 13. Instalasi Pipa Pesat (Penstock).

Struktur Bendungan dan Bak Penenang

Bendungan yang digunakan untuk mengarahkan aliran air menuju pipa pengisian bak penenang dibangun dengan memanfaatkan tumpukan batu yang dilapisi karung serta lembaran plastik. Struktur tersebut diperkuat dengan penambahan karung berisi tanah pada bagian atas sebagai penahan utama. Pemilihan material berupa karung dan plastik didasarkan pada pertimbangan ekonomis serta kemampuannya dalam mencegah perembesan air melalui permukaan bendungan. Kondisi dasar bendungan terdiri atas pasir, lumpur, dan batuan keras sehingga kedalaman bendungan bervariasi, yaitu berkisar antara 0,5 m hingga 0,8 m.



Gambar 14. Struktur Bendungan.

Air yang tertampung pada bendungan tidak sepenuhnya diblok, melainkan tetap dialirkan sebagian untuk menjaga keseimbangan ekosistem sehingga aliran sungai tetap berfungsi secara alami. Setelah ditahan pada bendungan, sebagian aliran dialirkan menuju bak penenang melalui pipa tipe D berdiameter 8 inci dengan ketebalan 3 mm. Bak penenang yang digunakan dalam sistem ini merupakan sarana yang disediakan oleh warga sekitar, dengan ukuran sebagai berikut.



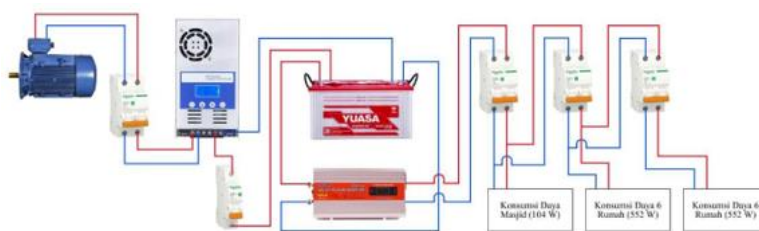
Gambar 3.4.4.2 Struktur Bak Penenang

Bak penenang berfungsi sebagai komponen penting dalam sistem PLTMH, terutama untuk mengondisikan aliran air sebelum masuk ke pipa *penstock*. Peran utamanya adalah menstabilkan debit aliran agar lebih seragam dan mengurangi fluktuasi kecepatan yang dapat

menimbulkan tekanan berlebih atau kavitasi pada turbin. Selain itu, bak penenang juga berfungsi sebagai penyaring sekunder, yakni menyaring kembali material padat atau benda berukuran besar yang mungkin lolos dari penyaringan awal, sehingga dapat mencegah masuknya partikel atau kotoran yang berpotensi mengganggu kinerja maupun umur pakai turbin.

Skema Rangkaian Kelistrikan

Rangkaian kelistrikan merupakan salah satu bagian penting dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) karena berfungsi mengatur aliran energi listrik sejak pertama kali dihasilkan hingga siap digunakan oleh masyarakat. Melalui rangkaian ini, energi listrik dari generator tidak hanya dialirkan secara langsung, tetapi juga melewati beberapa komponen utama seperti pengaman, pengatur arus, penyimpanan energi, dan konverter, sehingga kualitas dan keandalan listrik dapat terjamin. Rangkaian kelistrikan PLTMH ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 15. Rangkaian Sistem Listrik PLTMH.

Energi listrik yang dihasilkan oleh generator terlebih dahulu dialirkan menuju *controller* yang berfungsi sebagai pengatur arus dan tegangan untuk menjaga kestabilan sistem. Dari *controller*, energi listrik kemudian diteruskan ke *inverter* yang mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) sehingga dapat disesuaikan dengan kebutuhan beban. Energi listrik yang telah melalui proses konversi tersebut selanjutnya disimpan pada aki sebagai penyimpanan utama, sehingga pasokan energi tetap tersedia meskipun terjadi fluktuasi debit aliran air (Amin et al., 2021). Selanjutnya, listrik didistribusikan melalui MCB menuju tiga beban utama, yaitu masjid sebesar 104 W serta dua kelompok rumah dengan konsumsi masing-masing 552 W. Rangkaian ini menunjukkan sistem kelistrikan PLTMH yang terintegrasi dengan proteksi, penyimpanan, dan konversi energi, sehingga mampu menyediakan suplai listrik yang aman, stabil, dan andal bagi masyarakat.



Gambar 16. Pemasangan dan Pengujian Rangkaian Listrik.

Pengujian rangkaian listrik dilakukan untuk memastikan arus dan tegangan keluaran sesuai dengan kebutuhan beban, di mana multimeter digunakan sebagai alat ukur utama guna memverifikasi kestabilan distribusi daya setelah proses pemasangan instalasi rangkaian listrik serta mengurangi resiko korsleting (Torres et al., 2019).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) yang telah dirancang mampu menghasilkan daya sesuai kebutuhan sekaligus menunjukkan ketahanan dalam menahan beban putaran turbin serta tekanan hidrolis dari aliran air melalui penstock. Hal ini menunjukkan bahwa sistem tidak hanya berfungsi dalam konversi energi, tetapi juga stabil secara operasional pada kondisi debit dan tekanan yang diberikan.



Gambar 17. Instalasi PLTMH.

Pengujian PLTMH menghasilkan data teknis yang mencakup kondisi elevasi, debit air, serta potensi daya yang tersedia di lokasi penelitian. Hasil analisis tersebut menjadi dasar dalam penentuan desain komponen utama, mulai dari bendungan, bak penenang, *penstock*, hingga turbin dan sistem kelistrikan. Selanjutnya, perhitungan performa sistem dibandingkan dengan kondisi aktual lapangan untuk menilai efektivitas rancangan sekaligus mengidentifikasi faktor yang dapat memengaruhi kinerja PLTMH secara keseluruhan.

Analisis Output Listrik PLTMH

Untuk mengetahui performa sistem PLTMH yang telah dirancang, dilakukan pengujian pada beberapa variasi kondisi beban. Pada setiap kondisi, parameter yang diamati

meliputi daya output, tegangan, arus, serta putaran turbin (RPM). Data diperoleh melalui pembacaan indikator pada *controller* dan dicatat sesuai dengan variasi beban yang diuji, sebagaimana ditampilkan pada Tabel berikut.

Tabel 3. Data Pengamatan Output PLTMH pada Berbagai Kondisi.

No.	Kondisi	Konsumsi Daya	Tegangan	Arus	RPM
1	Tanpa Beban (tidak terhubung dengan controller dan aki)	0 W	116 V	0.36 A	1200
2	Tanpa Beban (terhubung dengan controller dan aki)	0 W	84 V	0.1 A	661
3	Beban 4 Lampu	49 W	64.8 V	0.74 A	654
4	Beban 8 Lampu	99 W	48.8 V	2 A	636
5	Beban 13 Lampu	161 W	37.4 V	4.27 A	620

Data pada Tabel 3 memperlihatkan bahwa nilai daya yang tercatat merupakan daya konsumsi beban yang terbaca pada controller, bukan daya keluaran generator secara langsung. Hal ini ditunjukkan pada kondisi tanpa beban, di mana generator tetap menghasilkan tegangan dan arus kecil, namun konsumsi daya tercatat 0 W karena tidak ada energi listrik yang benar-benar disalurkan ke beban. Hal ini menjelaskan mengapa putaran turbin berada pada kondisi tertinggi, sebab tidak ada torsi dari arus beban yang perlu diatasi.

Ketika sistem dihubungkan ke controller dan baterai penyimpanan, tegangan turun menjadi 84 V dengan arus tetap 0,36 A, sementara putaran menurun drastis menjadi 661 RPM. Penurunan tegangan dan kecepatan ini mencerminkan adanya resistansi internal serta torsi elektromagnetik tambahan akibat aliran arus ke rangkaian pengisian. Sesuai prinsip kerja generator, semakin besar arus yang dialirkan maka semakin besar gaya lawan elektromagnetik (back EMF) yang timbul pada kumparan, sehingga memperlambat rotor dan menurunkan tegangan terminal.

Pada pengujian dengan beban nyata, karakteristik sistem menunjukkan pola hubungan yang konsisten antara tegangan, arus, dan daya keluaran. Saat terhubung dengan 4 lampu, tegangan menurun hingga 64,8 V dengan arus meningkat menjadi 0,74 A, menghasilkan daya sebesar 49 W. Kondisi ini masih cukup stabil karena meskipun terjadi *voltage drop* sekitar 44% dibandingkan keadaan tanpa beban, daya listrik yang dihasilkan sudah termanfaatkan dengan baik dan turbin masih mampu mempertahankan putarannya. Namun, ketika jumlah beban dinaikkan menjadi 13 lampu, daya keluaran meningkat lebih dari tiga kali lipat, yakni menjadi 161 W, tetapi disertai penurunan tegangan drastis hingga 37,4 V serta lonjakan arus hingga 4,27 A. Kenaikan arus yang tajam tersebut sesuai dengan hukum Ohm, di mana besar arus berbanding lurus dengan daya yang diminta oleh beban dan berbanding terbalik dengan tegangan yang tersedia.

$$I = \frac{P}{V}$$

Selain itu, hal tersebut menunjukkan semakin besarnya kebutuhan daya beban, sementara turunnya tegangan dan RPM menandakan keterbatasan generator dalam menjaga kestabilan pada kondisi pembebanan tinggi. Dengan demikian, meskipun sistem mampu meningkatkan daya seiring penambahan beban, performa listrik yang dihasilkan cenderung menurun kualitasnya karena tegangan drop dan kestabilan mekanis turbin mulai terganggu oleh torsi lawan yang semakin besar.

Evaluasi Kinerja Hidrolis dan Efisiensi Pemanfaatan Beban

Evaluasi kinerja hidrolis dilakukan dengan menilai pemanfaatan energi potensial air melalui parameter head, debit, serta kerugian aliran pada *penstock*, yang kemudian dihitung sebagai daya hidrolis (P_{air}). Selanjutnya, efisiensi pemanfaatan terhadap beban ditentukan melalui perbandingan antara daya listrik yang dikonsumsi oleh beban (P_{beban}) dan daya hidrolis tersebut, sehingga memberikan gambaran sejauh mana turbin mampu mengkonversi energi air menjadi energi listrik yang benar-benar dimanfaatkan.

Namun demikian, perhitungan efisiensi pada penelitian ini belum mencakup keseluruhan daya keluaran sistem (yaitu daya beban ditambah daya pengisian baterai), yang idealnya digunakan untuk mengevaluasi kinerja PLTMH secara menyeluruh. Keterbatasan alat ukur dan kondisi pengujian menyebabkan analisis hanya dapat difokuskan pada rasio pemanfaatan energi hidrolis untuk beban langsung. Dengan demikian, nilai efisiensi yang disajikan lebih tepat dipahami sebagai indikator tingkat pemanfaatan energi air oleh beban, bukan sebagai efisiensi total sistem PLTMH.

Sebelum meninjau nilai daya hidrolis (P_{air}), perhitungan *head* efektif (H_{ef}) diperlukan karena head kotor yang tersedia tidak sepenuhnya dapat dimanfaatkan akibat adanya kerugian energi sepanjang *penstock*, baik karena gesekan maupun kehilangan minor.

Dengan mempertimbangkan *head* efektif (H_{ef}), perhitungan daya hidrolis menjadi lebih representatif serta mendekati kondisi nyata di lapangan, sebagaimana ditunjukkan pada perhitungan berikut.

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0,1524)^2}{4} = 0,018 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,05}{0,018} = 2,741 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{vD}{\nu} = \frac{2,741 \times 0,152}{1,003 \times 10^{-6}} = 416.480$$

$$f = \frac{0,25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\epsilon}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} = \frac{0,25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\epsilon}{3,7 \times 0,1524} + \frac{5,74}{416.480^{0,9}} \right) \right]^2} = 0,0135$$

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,0135 \cdot \frac{27}{0,1524} \cdot \frac{(2,741)^2}{2 \times 9,81} = 0,9179$$

$$H_{ef} = H - h_f = 4,0000 - 0,9179 = 3,0821 \text{ m}$$

Gambar 18. Perhitungan Daya Hidrolis.

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai *head* efektif (H_{ef}) sebesar 3,0821 m, yang merepresentasikan tinggi energi bersih setelah memperhitungkan kerugian aliran pada penstock dan selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam penentuan daya hidrolis sistem.

$$P_{air} = \rho g Q H_{ef}$$

$$P_{air} = 1000 \times 9,81 \times 0,005 \times 3,0821 = 1511,8 \text{ W} = 1,511 \text{ kW}$$

Dari hasil perhitungan, diperoleh daya hidrolis (P_{air}) sebesar 1,511 kW, yang merepresentasikan potensi energi mekanis maksimum yang tersedia dari aliran air berdasarkan debit dan head efektif sistem. Nilai ini menjadi acuan penting dalam mengevaluasi efisiensi terhadap beban, karena dapat dibandingkan secara langsung dengan daya listrik yang dikonsumsi.

Tabel 4. Pemanfaatan Daya oleh Beban.

No.	Kondisi	Konsumsi Daya	Rasio Pemanfaatan
1	Tanpa Beban (tidak terhubung dengan controller dan aki)	0 W	0 %
2	Tanpa Beban (terhubung dengan controller dan aki)	0 W	0 %
3	Beban 4 Lampu	49 W	3,24 %
4	Beban 8 Lampu	99 W	6,55 %
5	Beban 13 Lampu	161 W	10,65 %
6	Estimasi Kebutuhan Listrik Kampung 17	1108 W	73,32 %

Berdasarkan hasil perhitungan rasio pemanfaatan daya hidrolis menggunakan persamaan

$$\eta_{beban} = P_{beban}/P_{air} \times 100\% , \text{ nilai } \eta_{beban} \text{ menunjukkan persentase pada berbagai}$$

kondisi uji. Pada beban ringan (4 lampu, 49 W), rasio yang tercapai hanya 3,24%, kemudian meningkat menjadi 6,55% pada 8 lampu (99 W) dan 10,65% pada 13 lampu (161 W). Dengan estimasi kebutuhan listrik Kampung 17 sebesar 1.108 W, rasio pemanfaatan

mencapai 73,32%, yang menunjukkan bahwa sebagian besar energi hidrolis telah dimanfaatkan oleh beban.

Nilai tersebut memberikan gambaran bahwa sistem mampu memenuhi kebutuhan dasar listrik masyarakat, meskipun belum seluruh potensi daya hidrolis dapat dikonversi karena masih terdapat kerugian pada turbin, *penstock*, dan generator. Dengan demikian, perhitungan ini menegaskan adanya hubungan erat antara besar beban dan tingkat pemanfaatan energi, serta menunjukkan bahwa kinerja sistem PLTMH lebih optimal ketika beroperasi mendekati kapasitas kebutuhan nyata.

Kontribusi PLTMH terhadap Sosial-Ekonomi dan Kemandirian Energi

Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) memberikan kontribusi nyata terhadap kemandirian energi lokal melalui penyediaan sumber listrik yang bersifat terbarukan, mandiri, dan sesuai dengan potensi alam setempat. Dengan memanfaatkan energi air yang tersedia secara kontinu, PLTMH mampu mengurangi ketergantungan masyarakat terhadap pasokan listrik eksternal maupun penggunaan bahan bakar fosil yang mahal dan tidak berkelanjutan. Keberadaan PLTMH tidak hanya memenuhi kebutuhan dasar listrik rumah tangga, seperti penerangan dan peralatan elektronik sederhana, tetapi juga membuka peluang pemanfaatan energi untuk kegiatan produktif warga Kampung 17, sehingga mendorong pertumbuhan ekonomi lokal. Selain itu, PLTMH ini dikelola secara langsung oleh warga Kampung 17 sehingga keberlangsungannya menjadi tanggung jawab bersama dan mendorong tumbuhnya rasa memiliki terhadap sistem energi yang ada. Dengan demikian, hal tersebut mampu meningkatkan ketahanan energi serta keberlanjutan sistem kelistrikan Kampung 17.

Selain memberikan kontribusi pada aspek sosial dan energi, inovasi ini juga berdampak positif dalam bidang ekonomi, terutama terkait pemenuhan kebutuhan listrik masyarakat. Pada kondisi normal, biaya listrik warga akan ditanggung melalui jaringan listrik PLN dengan tarif yang berlaku, sehingga kemandirian energi menjadi salah satu faktor penting dalam mengurangi beban pengeluaran rumah tangga.

Tabel 5. Tarif Listrik Indonesia untuk Triwulan III-2025.

No.	Golongan	Daya	Tarif per kWh
1	R-1/TR	900 VA	Rp 1.352,00
2	R-1/TR	1300 VA	Rp 1.444,70
3	R-1/TR	2200 VA	Rp 1.444,70
4	R-2/TR	3500-5500 VA	Rp 1.699,53
5	R-3/TR	> 6600 VA	Rp 1.699,53

Berdasarkan estimasi, kebutuhan listrik warga Kampung 17 mencapai rata-rata 26,6 kWh per hari, sehingga dalam satu bulan total kebutuhan listrik sekitar 798 kWh. Dengan

estimasi penggunaan daya yang tidak melebihi 1.200 W, menurut Muliawati, (2025) masyarakat yang termasuk dalam kategori pelanggan R-1/TR dengan daya 1.300 VA dikenakan tarif sebesar Rp 1.444,70 per kWh. Jika kebutuhan tersebut dipenuhi sepenuhnya dari jaringan PLN, biaya bulanan yang harus dibayar mencapai sekitar Rp 1.152.870,6. Oleh karena itu, pemanfaatan listrik mandiri melalui pembangunan PLTMH ini mampu memberikan penghematan signifikan sekaligus mendukung tercapainya kemandirian energi di Kampung 17.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Pembangunan PLTMH di Kampung 17 melalui kegiatan Pengabdian Masyarakat HMM ITPLN Jakarta berhasil memanfaatkan potensi energi air setempat untuk memenuhi kebutuhan dasar listrik masyarakat sebesar 1,108 kW. Hasil pengujian menunjukkan bahwa daya hidrolis yang tersedia mencapai 1,511 kW, dengan rasio pemanfaatan terhadap beban yang meningkat seiring bertambahnya jumlah beban hingga mencapai 73,32% pada kondisi kebutuhan normal warga. Hal ini membuktikan bahwa sistem PLTMH yang dirancang mampu beroperasi stabil, meskipun masih terdapat keterbatasan berupa penurunan tegangan pada beban tinggi serta efisiensi hidrolis yang dipengaruhi oleh desain turbin sederhana.

Saran

Ketiadaan pengukuran daya pengisian aki menyebabkan evaluasi PLTMH hanya didasarkan pada konsumsi beban langsung, sehingga nilai efisiensi yang diperoleh lebih rendah dari kondisi sebenarnya. Untuk penelitian berikutnya, diperlukan pemasangan sensor arus dan tegangan pada jalur pengisian atau penggunaan *data logger* khusus agar distribusi daya dapat tercatat lebih komprehensif.

Selain itu, keterbatasan akurasi alat ukur yang hanya mengandalkan pembacaan controller berpotensi menimbulkan deviasi data terhadap nilai aktual, sehingga perhitungan daya dan efisiensi kurang presisi. Solusinya adalah melengkapi pengujian dengan instrumen berakurasi tinggi, seperti *power analyzer* atau multimeter terkalibrasi, guna meningkatkan keandalan hasil pengukuran.

Di sisi lain, desain turbin Pelton yang masih sederhana akibat keterbatasan manufaktur juga menurunkan efisiensi hidrolis, karena aliran air tidak sepenuhnya terdefleksi mendekati 180°. Upaya perbaikan dapat dilakukan dengan perancangan berbasis pemodelan 3D dan analisis *Computational Fluid Dynamics (CFD)*, serta proses produksi presisi melalui teknik pengecoran atau pemesinan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih terdalem kepada seluruh Angkatan 2023 S1 Teknik Mesin IT-PLN yang telah berpartisipasi dengan rasa kekompakan, persaudaraan dan bersama-sama melewati setiap tantangan hingga berhasil menyelesaikan perancangan PLTMH ini sebagai wujud nyata karya dan pengabdian kepada masyarakat. Ucapan terima kasih yang tulus juga penulis sampaikan kepada warga Kampung 17 atas dukungan dan kebersamaan yang diberikan, serta kepada Himpunan Mahasiswa Mesin IT-PLN yang telah menjadi wadah dan penggerak utama dalam terwujudnya karya ini.

REFERENSI

- Adhynata, A. D., Fadhlillah, F., Fatahillah, M. R., Diovant, J. A., Awaliyah, F. I., Setiawan, C. H., Nurbahtiar, M. A., Susanto, E., & Ridwan, M. (2025). Providing clean energy with micro hydro power plants (PLTMH) for Babakan Village, Banten. *Solusi Bersama: Jurnal Pengabdian Dan Kesejahteraan Masyarakat*, 2(1), 84-93.
- Amin, M. R., Negnevitsky, M., Franklin, E., Alam, K. S., & Naderi, S. B. (2021). Application of battery energy storage systems for primary frequency control in power systems with high renewable energy penetration. *Energies*, 14(5). <https://doi.org/10.3390/en14051379>
- Daily, W. J. S., Nienhuis, R. M., & Prins, D. W. (2021). Development and validation of an analytical flow model for the buried Ocean Battery. *Journal Name*, Volume(Issue), pages. [Link if available]
- Firdaus, M., & Suyanto, H. (2020). Pengembangan sistem energi terbarukan untuk daerah terpencil berbasis energi mikrohidro. *Jurnal Teknologi Energi Terbarukan*, 10(3), 123-130. <https://doi.org/10.1234/jtet.2020.0031>
- Ge, X., Sun, J., Chu, D., Liu, J., Zhou, Y., Zhang, H., Zhang, L., Chen, H., Kan, K., Binama, M., & Zheng, Y. (2023). Sediment erosion on Pelton turbines: A review. *Chinese Journal of Mechanical Engineering (English Edition)*, 36(1). <https://doi.org/10.1186/s10033-023-00880-y>
- Indah, R. N., & Rarasati, A. D. (2020). Enabling electricity access to rural areas in Indonesia: Challenges and opportunities. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 830(2). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/830/2/022069>
- Ko, Y. (2020). Development, testing and optimization of a pico hydro turbine for pressure regulation and energy harvesting. *Journal Name*, Volume, pages.
- Kumashiro, T., Fukuhara, H., & Tani, K. (2016). Unsteady CFD simulation for bucket design optimization of Pelton turbine runner. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 49(2), 0-10. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/49/2/022003>
- Muliawati, F. D. (2025). Tarif listrik PLN per kWh untuk 13 golongan, berlaku 3 September 2025. *CNBC Indonesia*. <https://www.cnbcindonesia.com/news/20250903072445-4-663783/tarif-listrik-pln-per-kwh-untuk-13-golongan-berlaku-3-september-2025>

- Putra, A., & Saputra, M. (2019). Kincir air sederhana untuk meningkatkan kemandirian energi di desa terpencil. *Jurnal Pengembangan Teknologi*, 15(2), 88-95. <https://doi.org/10.5678/jpt.2019.007>
- Rashi Sahay, & Swamy, T. N. (2024). Micro-hydro power—Harnessing the potential energy of water for small-scale electricity generation. *International Journal of Research and Review in Applied Science, Humanities, and Technology*, 1(1), 13-17. <https://doi.org/10.71143/4p12n447>
- REN21. (2024). *2024 global status report—Renewables in energy supply: Global trends, market and industry trends, challenges and opportunities*. AEE-Institute for Sustainable Technologies (AEE-INTEC) Council on Energy, Environment and Water (CEEW). Paris: REN21 Secretariat.
- Riani, D., & Suryadi, A. (2021). Solusi energi berkelanjutan di wilayah tanpa listrik: Studi kasus di pedesaan Jawa Barat. *Jurnal Energi dan Sumber Daya Alam*, 8(1), 45-56. <https://doi.org/10.5678/jesda.2021.054>
- Torres, I. C., Negreiros, G. F., & Tiba, C. (2019). Theoretical and experimental study to determine voltage violation, reverse electric current, and losses in prosumers connected to low-voltage power grid. *Energies*, 12(23). <https://doi.org/10.3390/en12234568>
- Wie, S., & Agung, A. I. (2018). Perencanaan dan implementasi prototipe pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH). *Jurnal Teknik Elektro*, 7(01), 31-36.