

Study and Design of Picohydro Power Plant for Low-Head and Low-Flow Application

Article History:

Received

9 January 2025

Revised

26 January 2025

Accepted

20 April 2025

DENY HAMDANI¹, MUGNI LABIB EDYPOERWA²

¹Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

²Teknik Energi Terbarukan, Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri, Universitas Pendidikan Indonesia, Indonesia

Email: denyhamdani@itb.ac.id

ABSTRAK

Tren transisi energi global telah mendorong pemanfaatan energi terbarukan dari lingkungan sekitar, salah satunya adalah aliran air irigasi. Pembangkit Listrik Tenaga Piko hidro (PLTPH) menawarkan solusi untuk memanen energi kinetik dan potensial dari aliran air dengan debit dan head rendah. Penelitian ini merancang PLTPH berbasis kincir air klasik dengan nozzle impulsif, pipa intake bertahap, konverter booster, perangkat Maximum Power Point Tracking (MPPT), dan baterai untuk memastikan daya optimal dan stabil. Dari aliran air dengan debit 0,4 m/detik dan head 80 cm, PLTPH memiliki potensi menghasilkan daya hingga 500 W, menunjukkan efektivitas teknologi ini untuk mendukung transisi energi dan pemanfaatan energi di wilayah terpencil.

Kata kunci: Energi berkelanjutan, Energi terbarukan, Piko hidro, Transisi energi, Turbin air

ABSTRACT

The global energy transition trend has driven the utilization of renewable energy from the surrounding environment, one of which is the irrigation water flow. Picohydro Power Plant (PLTPH) offers a solution to harvest kinetic and potential energy from water flow with low discharge and head. This study designed a PLTPH based on a classic water wheel equipped with an impulsive nozzle, a gradual intake pipe, a booster converter, an MPPT device, and a battery to ensure optimal and stable power output. With a water flow discharge of 0.4 m/s and a head of 80 cm, the PLTPH can generate up to 1,100 W, demonstrating the effectiveness of this technology in supporting energy transition and energy utilization in remote areas.

Keywords: Energy transition, Picohydro, Renewable energy, Sustainable energy, Water turbine

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



1. PENDAHULUAN

Listrik merupakan salah satu kebutuhan energi terpenting dalam kehidupan manusia modern. Namun, belum semua penduduk Indonesia dapat menikmati pasokan listrik. Hingga saat ini masih ada ketimpangan antara kebutuhan energi dengan pasokan energi, terutama di luar Jawa dan Sumatera dan kepulauan kecil. Meskipun data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menunjukkan rasio elektrifikasi yang relatif tinggi mencapai 99,3% pada tahun 2021, masih terdapat daerah-daerah pelosok bahkan di Pulau Jawa, yang masih belum menerima pasokan listrik yang memadai **(Suprpto & Hasanah, 2022)**.

Trend transisi energi dunia, termasuk di Indonesia mendorong pemanfaatan energi terbarukan secara masif membuka peluang eksplorasi potensi energi baru bersifat terbarukan yang selama ini belum mendapatkan perhatian serius **(Poerwantika, dkk, 2022)(Wardhana & Marifatullah, 2020)**. Salah satu sumber energi terbarukan yang melimpah di daerah terpencil terutama pegunungan adalah aliran air dari sungai kecil bahkan saluran air **(Putri, dkk, 2024)**. Ketersediaanya begitu besar dari mulai sungai sampai saluran irigasi persawahan belum mampu dimaksimalkan penggunaannya sebagai sumber energi alternatif. Potensi energi listrik dari pembangkit listrik air berskala kecil diperkirakan sekitar 19 MW dengan pemanfaatan baru 1% **(PLN, 2021)**.

Pemanenan energi dari aliran air berskala kecil ini dapat dilakukan melalui teknologi pembangkitan listrik tenaga air berskala kecil, seperti pikohidro. Secara prinsip, pembangkit listrik teknologi pikohidro (PLTPH) ini menerapkan teknologi pembangkit listrik tenaga air berskala besar (PLTA) yang relatif sudah matang. Beberapa kondisi teknis, seperti head yang rendah atau debit air yang kecil, menjadi tantangan khas dari teknologi PLTPH. Jenis pembangkit ini cukup memadai untuk mengeksplorasi energi listrik dari saluran air dengan debit air yang rendah dan head yang kecil. Dengan berbagai bentuk intake, energi kinetik atau potensial dari aliran air dapat disalurkan untuk menggerakkan turbin dan generator guna menghasilkan listrik berskala kecil **(Jabar, dkk, 2020)**.

Selain itu, PLTPH mampu menghasilkan daya listrik dengan kapasitas maksimal hingga 5 kW **(Firdaus, dkk, 2022)**. Sistem ini memiliki karakteristik sederhana, fleksibel, dan ekonomis, yang menjadikannya mudah dalam proses instalasi, pengoperasian, dan penyesuaian **(Bushal, dkk, 2007)**. Teknologi ini memberikan manfaat signifikan bagi masyarakat di wilayah terpencil, terutama karena biayanya yang terjangkau dan kemampuannya mengatasi kendala jarak transmisi energi dari sumber listrik **(Basar, dkk, 2011)**. Oleh sebab itu, PLTPH merupakan solusi yang ideal untuk penyediaan listrik di wilayah pedesaan dan terpencil **(Haida, dkk, 2012)**.

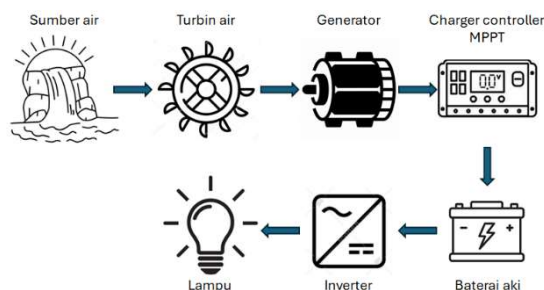
Diharapkan penerapan teknologi yang relatif sederhana dan berskala kecil namun dapat dipasang secara masif ini dapat berkontribusi pada isu transisi energi Indonesia menuju energi baru terbarukan dengan target net zero emission 2060 **(Nugroho & Angela, 2024) (Prasodjo, 2023)**. Selain itu, penggunaan PLTPH dapat meningkatkan kesadaran masyarakat akan pentingnya menjaga kelestarian lingkungan, yang menjadi syarat mutlak bagi kualitas pasokan air agar sistem ini mampu menghasilkan listrik secara berkesinambungan.

Penelitian tentang PLTPH di Indonesia telah banyak dilakukan di berbagai daerah. Seperti pada penelitian yang dilakukan di reservoir kampus Institut Teknologi Sumatera (ITERA) menggunakan simulasi MATLAB untuk *head* setinggi 5.46 m dan debit sebesar 0.4 m³/s yang menghasilkan daya sebesar 12.61 kW **(Corio, dkk, 2020)**. Terdapat juga penelitian terkait PLTPH dengan debit 0.00035 m³/s yang dikombinasikan dengan panel surya di Pusat Lutung

Jawa/Javan Langur Centre (JLC) menggunakan generator kapasitas 300 W (**Hidayat, dkk, 2021**). Pada penelitian lain juga dilakukan modifikasi struktur PLTPH yang terapung di saluran irigasi dengan daya hasil perancangan mencapai 500 W (**Suparman, dkk, 2018**).

Dalam penelitian ini, studi potensi dan eksplorasi energi air berskala kecil telah dilakukan di Desa Cinangsi, Kabupaten Cianjur Provinsi Jawa Barat. Secara hidrologis, desa ini memiliki potensi air yang melimpah, akan tetapi di sisi lain masih terdapat daerah yang belum teraliri energi listrik karena letaknya yang tak terjangkau saluran distribusi energi listrik. Untuk memecahkan permasalahan tersebut, dilakukan penelitian untuk memanfaatkan potensi energi dari saluran air dengan merancang dan membangun pembangkit listrik tenaga pikohidro (PLTPH) guna menjadi sumber energi alternatif sekaligus turut berkontribusi terhadap program nett zero emission pada masa transisi energi ini.

Sebagai PLTA berskala kecil, proses pembangkitan listrik pada PLTPH dilakukan dengan mengubah energi kinetik atau potensial, tergantung pada jenisnya, menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin air dan generator berkapasitas kecil yang menghasilkan daya listrik di bawah 5 kW. Secara umum, Sistem PLTPH terdiri atas dua komponen utama, yakni turbin dan generator, yang ditunjang oleh pipa atau intake dan perangkat/instalasi listrik (**Badan Standar Nasional, 2018**). Sudu turbin diputar oleh energi kinetik dari aliran air yang mengalir kepadanya melalui pipa atau intake dengan berbagai konstruksi (**Siswadi & Nugroho, 2020**). Putaran turbin ini akan ditransfer untuk memutar generator berupa mesin induksi DC yang merubah energi mekanik menjadi energi listrik. Operasi sistem PLTPH dikendalikan melalui perangkat charge controller dengan penyimpanan energi berupa baterai untuk menjaga kualitas suplai listrik yang stabil. Inverter digunakan untuk merubah listrik DC menjadi listrik AC untuk memasok energi untuk beban AC, semisal, lampu.



Gambar 1. Diagram Skematik Sistem PLTPH

Pemilihan tipe turbin air dari PTLPH sangat tergantung pada ketinggian (head) dan aliran (flow) dari air (**Choifin, dkk, 2024**)(**Jawadz, dkk, 2019**). Untuk skema head besar, turbin Pelton menjadi pilihan ideal. Sedangkan, untuk skema head medium dan rendah lebih banyak pilihan dengan turbin Pumps, Turgo atau Crossflow. Tipe turbin dengan water wheel atau kincir angin digunakan untuk skema head rendah, dengan sumbu vertical atau horisont (**Energypedia, n.d.**).

Konstruksi untuk PLTPH pada penelitian ini dirancang sedemikian rupa agar air dapat jatuh melalui saluran menuju pembangkit listrik dalam bentuk generator yang terhubung dengan turbin. Dalam hal ini, perbedaan tinggi muka air di atas turbin akan mempengaruhi energi potensial air yang akan menggerakkan turbin pada generator (**Corio, dkk, 2020**). Sehingga dapat menggunakan persamaan matematika seperti berikut

$$E = m.g.h \quad (1)$$

dengan E = energi potensial air; m = massa air (kg); g = percepatan gravitasi (9.8 m/detik^2); dan h = perbedaan ketinggian muka air (m)

Daya adalah energi per satuan waktu ($E/\delta t$), sehingga persamaan dapat dinyatakan sebagai

$$\frac{E}{\delta t} = \frac{m}{\delta t} g \cdot h \quad (2)$$

lakukan substitusi P dengan ($E/\delta t$) dan $\rho.Q$ dengan ($m/\delta t$) maka

$$P = \rho \cdot Q \cdot g \cdot h \quad (3)$$

dengan P = daya (Watt); Q = kecepatan volumetrik aliran air ($\text{m}/\delta t^2$); ρ = massa jenis air (kg/m^3)

Selain memanfaatkan energi potensial dari jatuhnya air, PLTPH juga memanfaatkan energi kinetik dari aliran air yang datar sesuai persamaan di bawah

$$E = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (4)$$

dengan v = kecepatan aliran air ($\text{m}/\delta t^2$)

bisa juga dengan menggunakan persamaan di bawah

$$E = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (5)$$

dengan A = luas penampang aliran air (m^2)

Dari persamaan yang ada di atas, daya yang dibangkitkan oleh PLTPH sangat tergantung pada tinggi jatuhnya air (*head*) dan kecepatan volumetrik aliran air (debit). Debit air Q ditentukan oleh luas penampang air A dan kecepatan aliran air v .

$$Q = A \cdot v \quad (6)$$

dimana Q = debit air (m^3/detik); A = luas penampang air (m^2); dan v kecepatan aliran air (m/detik)

Output dari turbin ini selanjutnya akan menggerakkan generator dan menghasilkan ggl induksi dan daya listrik. Akibat aliran air yang tidak konstan, maka output dari generator ini perlu dilakukan penyesuaian menggunakan konverter daya step-up dan step-down sehingga menghasilkan tegangan dan frekuensi yang sesuai untuk beban listrik (Andolfatto et al., 2015; Desai et al., 2014).

Dengan memperhatikan efisiensi sistem, secara teoritis daya dapat dituliskan:

1.1 Sumber Daya Air

Untuk daya air pada sumber daya air dapat dihitung dengan persamaan:

$$P_s = Q \cdot \rho \cdot g \cdot h_{eff}. \quad (7)$$

dengan P_s = daya pada sumber air (Watt); Q = debit air (m³/detik); ρ = massa jenis air (kg/m³); g = percepatan gravitasi (9.8 m/detik²); h_{eff} = beda ketinggian muka air (m),

1.2 Sumber Daya Mekanik

Untuk besarnya daya mekanik yang menggerakkan turbin adalah:

$$P_m = P_s \cdot \eta_T \quad (8)$$

dengan P_m = daya listrik yang dihasilkan (Watt), η_T = efisiensi turbin;

1.3 Sumber Listrik

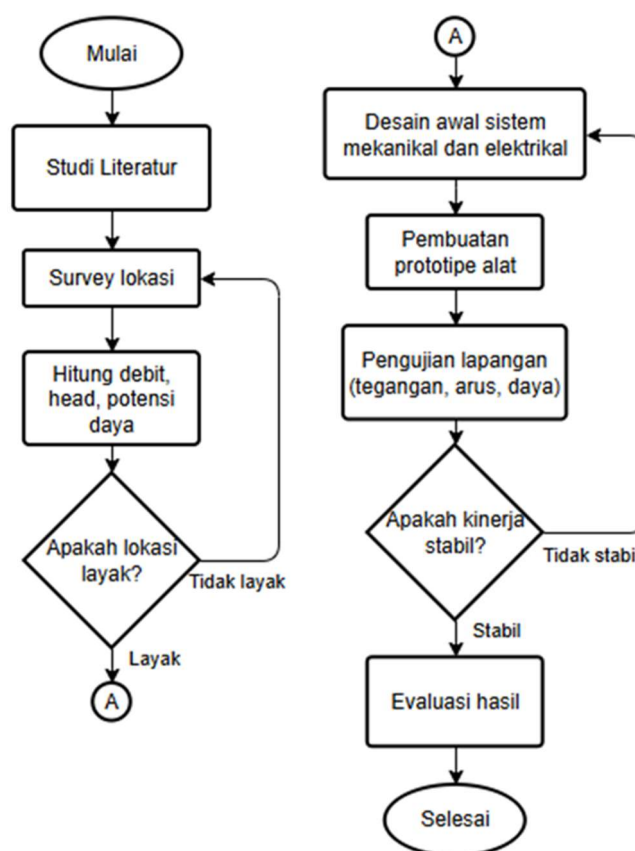
Untuk besarnya daya listrik yang dapat dibangkitkan adalah:

$$P = P_m \cdot \eta_G \quad (9)$$

dengan P = daya listrik yang dibangkitkan (Watt); η_G = efisiensi generator

2. METODA PENELITIAN

Metodologi penelitian meliputi pemilihan lokasi yang tepat, perancangan sistem, pengujian, pemasangan dan komisioning. Metodologi penelitian ini juga dapat digambarkan sesuai dengan diagram alir pada Gambar 2. Diagram Alir Penelitian.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Pemilihan lokasi yang tepat ditentukan oleh beberapa faktor, yakni

- a) Faktor teknis, meliputi kondisi sumber air dengan potensial daya listrik bangkitannya, jenis dan lokasi pembebanan, kondisi instalasi yang memerlukan kekuatan mekanik pada strukturnya
- b) Faktor biaya, meliputi keterpencilan lokasi yang membuat biaya transportasi dan instalasi semakin mahal, yang terkadang lebih besar daripada biaya pembuatan pembangkitnya
- c) Faktor lingkungan, meliputi kondisi keamanan yang meminta jaminan anti pencurian atau pengrusakan, kondisi kebersihan air dimana sampah di saluran dapat menyumbat dan mengurangi debit air, kemudahan pemasangan dan akses pemeliharaan.

Perancangan sistem dilakukan dengan tahapan sebagai berikut

- a) Perhitungan potensi daya listrik dibangkitkan. Berdasarkan hasil pengukuran debit air dan ketinggian jatuh air (*head*) rata-rata, diperoleh potensi daya listrik yang dapat dibangkitkan oleh PLTPH dengan memperhitungan faktor efisiensi sistem. Parameter fundamental ini menjadi dasar penentuan spesifikasi komponen.
- b) Pemilihan komponen dan perangkaiannya menjadi sistem. Pemilihan komponen dilakukan berdasarkan fungsi dan spesifikasi teknisnya. Sistem yang dirangkai harus menghasilkan listrik yang stabil dan handal dalam kondisi debit air yang bervariasi. Beban listrik yang disuplai berupa lampu LED 12 W sebanyak 5 buah yang dipasang pada tiang untuk penerangan jalan di malam hari.

Pengujian, dilakukan untuk memastikan peralatan dan sistem bekerja dengan baik. Trial and error kadang dilakukan untuk mendapatkan fungsi yang sesuai dengan ekspektasi.

Pemasangan dan komisioning, dilakukan di lokasi pembangkitan untuk mendudukan peralatan PLTPH pada posisi yang tepat, diakhiri dengan komisioning untuk memastikan keberfungsian peralatan.

2.1 Potensi Daya Listrik

Untuk mendapatkan lokasi instalasi PLTPH dengan kapasitas dan kondisi terbaik, beberapa lokasi aliran air yang berpotensi untuk membangkitkan listrik telah disurvei. Selain pertimbangan teknis utama, seperti debit dan *head* air, faktor lainnya perlu diperhatikan untuk menjaga kesinambungan dari instalasi PLTPH, seperti keamanan instalasi dari pencurian dan potensi banjir bandang, sampah, serta rencana pemanfaatannya, sedemikian sehingga diperoleh lokasi terbaik untuk instalasi PLTPH pada koordinat bumi 6°43'18.929"S 107°12'5.234"E berupa sebuah buis beton sebagai gorong air di bawah jalan.



Gambar 3. Lokasi Daerah Pemasangan PLTPH

Pada survey pemilihan lokasi PLTPH, dilakukan pengukuran debit air dengan menggunakan Current Meter Flowatch FL-03 yang dicelupkan ke dalam aliran air. Pengukuran dilakukan di sebelas titik dengan kondisi beraneka ragam yang menghasilkan nilai debit antara 0,3 hingga 1,7 m/detik.



(a)



(b)

Gambar 4. (a) Current meter flowatch FL-03 (b) teknik pengukuran debit air

Dengan mempertimbangkan berbagai faktor, khususnya faktor lingkungan, dipilih sumber air dengan kecepatan 0,4 m/detik dan head 80 cm yang keluar dari buis beton berdiameter 100 cm seperti pada Gambar 5, dimana penampang muka adalah separuh dari luas penampang buis beton. Dengan menggunakan Persamaan 6, dapat diketahui debit (Q) yang ada pada buis beton tersebut

$$Q = A \cdot v$$

$$Q = 0,5 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot v$$

$$Q = 0,5 \cdot \pi \cdot 0,3^2 \cdot 0,4$$

$$Q = 0,057 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Dengan menggunakan Persamaan 7-9 serta efisiensi turbin dan generator PLTPH sebesar 90%, maka dapat dihitung

$$P = Q \cdot \rho \cdot h_{eff} \cdot g \cdot \eta_T \cdot \eta_G$$

$$P = 0,057 \cdot 1000 \cdot 0,8 \cdot 9,8 \cdot 0,9$$

$$P = 1.100 \text{ Watt}$$

diperoleh estimasi potensi daya listrik sebesar 1.100 W



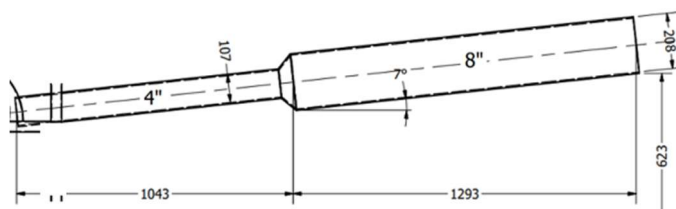
Gambar 5. Kondisi Sumber Air PLTPH

Sumber air memiliki debit dan ketinggian air yang rendah. Karenanya diperlukan konstruksi turbin yang bisa bekerja efektif dengan putaran rendah. Konstruksi kincir air menjadi pilihan yang tepat untuk memenuhi karakteristik sumber air tersebut.

2.2 Desain dan Pemilihan Komponen

Komponen dipilih agar mendapatkan kesesuaian antara karakteristik dan spesifikasi komponen dengan kebutuhan alat sehingga alat yang dibuat dapat bekerja dengan baik. Beberapa komponendan alat yang digunakan dalam rancang bangun ini adalah sebagai berikut:

Bagian Intake, terdiri atas buis beton dan pipa saluran. Buis beton di bawah jembatan jalan memiliki air dengan debit 0,028 m³/detik dan head 80 cm yang disalurkan melalui pipa saluran PVC berdiameter 8" dan 4" sepanjang 1,2 m dan 1 m, berturut-turut, yang membentuk *nozzle* tunggal untuk menggerakkan turbin (Gambar 6) Untuk memastikan kualitas pasokan air, dilakukan pemasangan ram kawat sebagai filter air dari sampah yang dapat mengurangi debit air penggerak turbin.



(a)

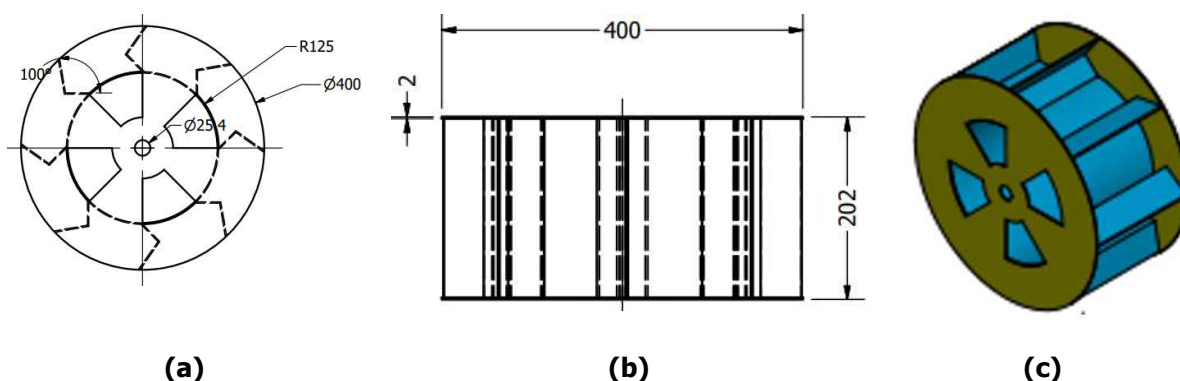


(b)

Gambar 6. (a) Ukuran bagian intake PLTPH (b) Desain bagian intake PLTPH

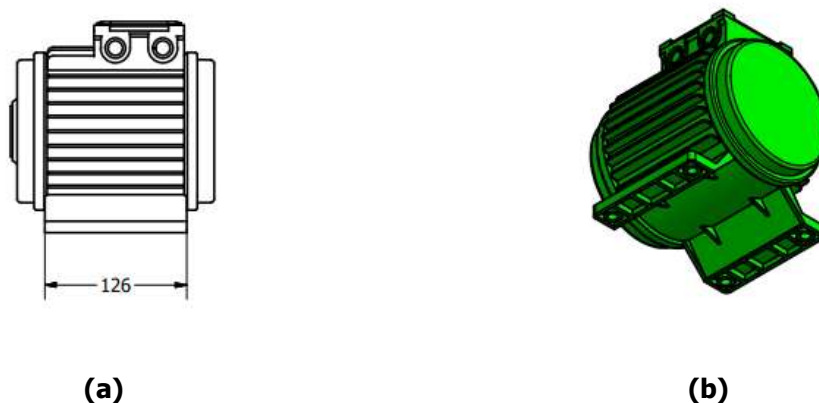
Bagian mesin, terdiri atas turbin dan generator. Turbin merubah energi kinetik menjadi mekanik yang akan menggerakkan generator, sedangkan generator merubah energi mekanik menjadi energi listrik. Turbin yang digunakan berupa turbin impulse berjenis kincir angin

overshoot dimana air dari pipa ditembakkan ke sudu bagian atas yang akan menggerakkan turbin searah jarum jam (Gambar 7). Turbin memiliki diameter 400 mm dan tebal 20,2 mm dengan 8 buah sudu.



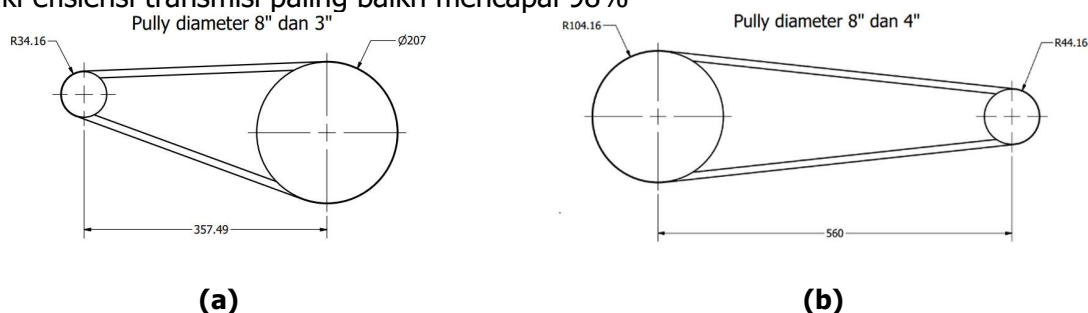
Gambar 7. (a) Dimensi turbin air (b) Dimensi lebar sirip turbin air (c) Desain turbin air

Generator yang dipilih motor berjenis permanent magnet dengan putaran 120-2.000 rpm menghasilkan daya rating 500 Watt dengan arus 5 A dan tegangan 120 Volt DC (Gambar 8)



Gambar 8. (a) Dimensi motor generator (b) Desain motor generator

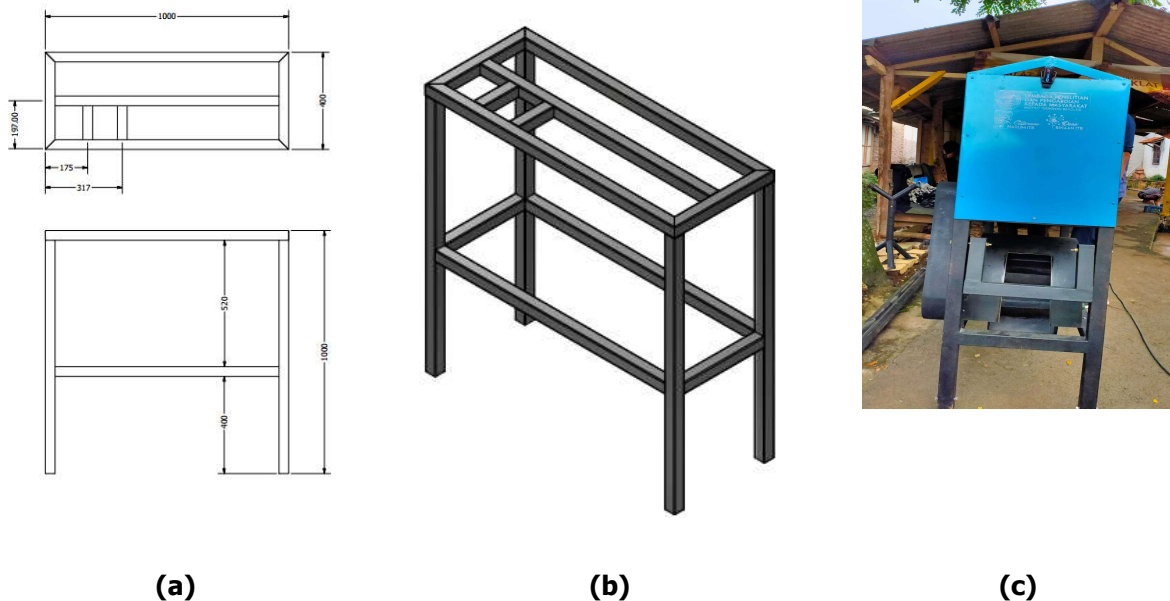
Untuk mentransfer daya putaran dari turbin ke generator, digunakan dua buah V-belt pully bertingkat dengan diameter 8"/4" dan 8"/3" (Gambar 9). Jenis pully ini cukup fleksible dan memiliki efisiensi transmisi paling baikn mencapai 98%



Gambar 9. (a) V-belt pully dari turbin air (b) V-belt pully ke generator

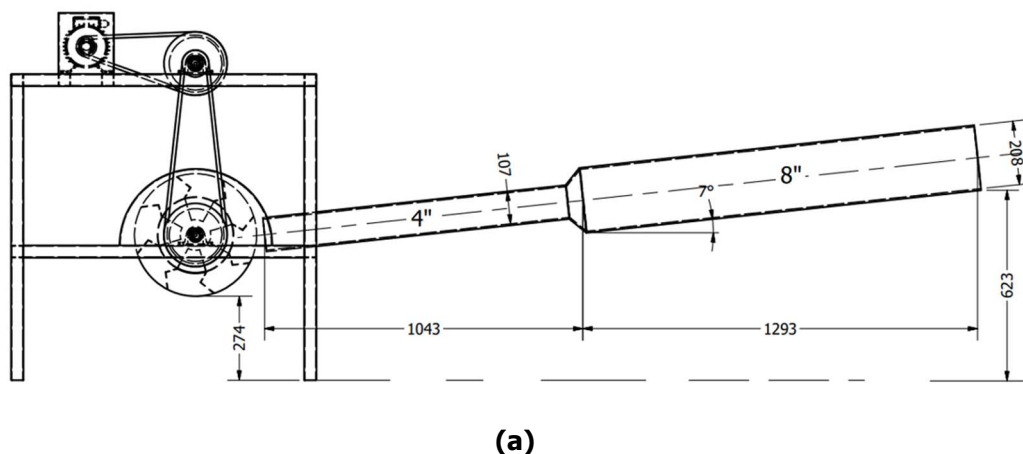
Bagian mekanik, berupa rangka logam yang dirancang kokoh menahan beban mesin berikut getarannya dengan material galvanis yang tahan karat. Rangka dibuat dari baja hollow 40 mm

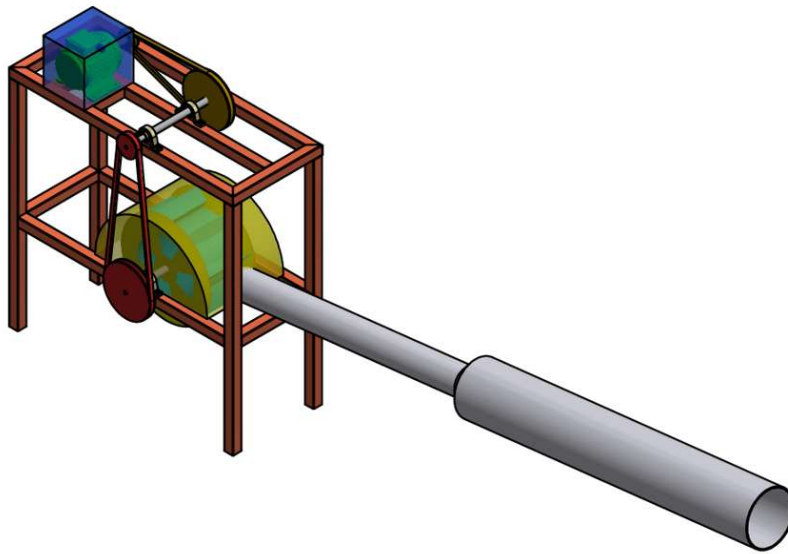
x 40 mm dengan ukuran panjang 1000 mm, lebar 400 mm, dan tinggi 1000 mm (Gambar 10). Tingginya dapat diatur mengikuti ketinggian yang tepat untuk intake.



Gambar 10. Konstruksi Rangka

Bagian elektrik, terdiri atas MPPT device, konverter, inverter, baterai accu dan MPPT. . MPPT device (Maximum Power Point Tracker) yang berfungsi memaksimalkan dan menjaga stabilitas listrik yang dihasilkan generator yang merespon perubahan kualitas pasokan air dan perubahan pembebanan Konverter DC-DC booster meningkatkan tegangan hingga 12 VDC, inverter mengubah tegangan 12 V_{DC} menjadi 220 V_{AC} sesuai dengan beban lampu, baterai accu 12V 5 Ah digunakan untuk menyimpan daya lebih yang akan digunakan untuk menambah daya jika keluaran energi dari inverter berkurang.





(b)

Gambar 11. Rancangan Sistem PLTPH

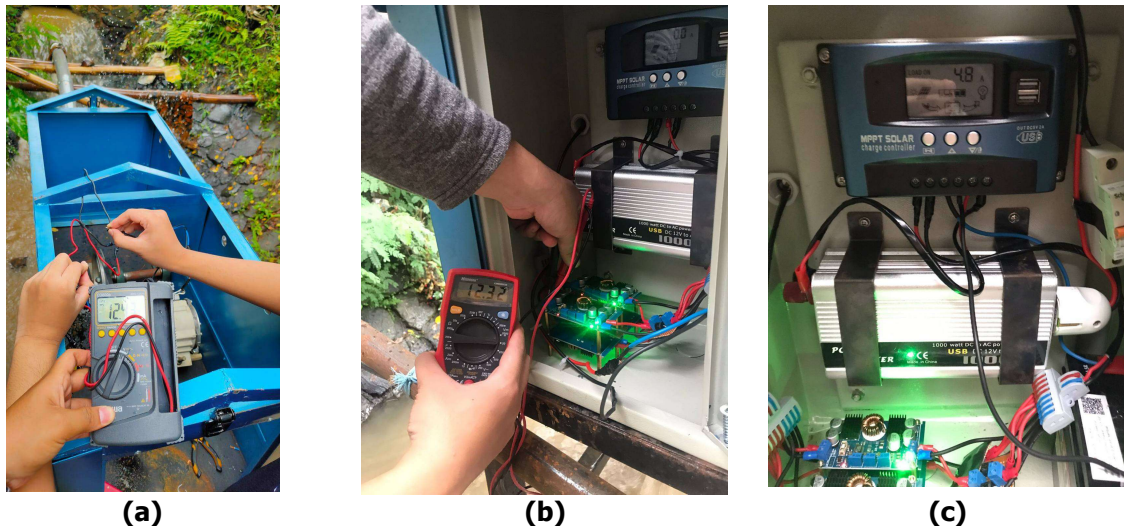
2.3 Pemasangan dan Pengujian Komponen

Setelah sistem PLTPH terpasang (Gambar 12), dilakukan pengujian komponen penting untuk memastikan bahwa PLTPH berfungsi dengan baik.



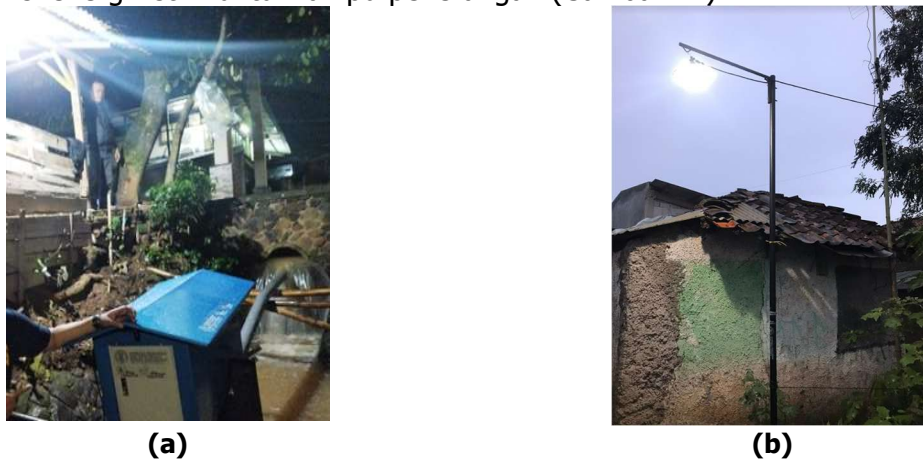
Gambar 12. PLTPH yang Terpasang

Pemeriksaan tegangan keluaran dari generator dilakukan dengan multimeter dan diperoleh tegangan berkisar 12 V (Gambar 13) Pada konverter DC-DC booster, tegangan yang terbaca sebesar 12.32 V dan pada pengisian baterai dengan arus 4,8 A. Pada inverter DC-AC didapat tegangan keluaran 220 V_{AC} yang mengalirkan energi listrik ke beban lampu 60 W.



Gambar 13. Pengujian (a) tegangan motor Generator (b) tegangan konverter (c) Pengisian baterai

Setelah dilakukan pengujian dan komisioning, PLTPH dapat berfungsi dengan baik memproduksi energi listrik untuk lampu penerangan (Gambar 14).



Gambar 14. Lampu Penerangan

3. HASIL DAN ANALISIS

Berdasarkan data lapangan yang kemudian dilakukan perhitungan menggunakan persamaan yang sudah ada di Bab 1. didapatkan hasil penelitian bahwa debit air (Q) saat itu di saluran air yang dipilih adalah sebesar $0,057 \text{ m}^3/\text{detik}$ serta dengan menggunakan asumsi efisiensi sistem sebesar 90% maka potensi daya (P) yang dapat dihasilkan adalah sebesar 1.100 Watt.

Dalam penelitian ini, Pembangkit Listrik Tenaga Piko hidro (PLTPH) dirancang mampu memanfaatkan aliran air dengan debit rendah hingga sebesar $0,4 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan *head* kecil 80 cm. Sedangkan generator yang digunakan adalah untuk menghasilkan daya listrik hingga 500 W. Sistem ini dirancang dengan menggunakan kincir air klasik yang dilengkapi nozzle impulsif dan pipa intake bertahap untuk mengoptimalkan aliran air yang terbatas. Pengujian menunjukkan bahwa sistem menghasilkan tegangan keluaran yang stabil sebesar 12 V, dengan dukungan perangkat elektronik seperti MPPT, baterai, dan inverter untuk menjaga keandalan daya pada berbagai beban, termasuk lampu penerangan jalan. Efisiensi

keseluruhan sistem mencapai 90%, menunjukkan performa yang memadai untuk aplikasi di lokasi terpencil.

Dari analisis lebih lanjut, keberhasilan sistem ini terletak pada integrasi desain mekanis dan elektrik yang dirancang untuk kondisi sumber daya yang terbatas. Nozzle impulsif meningkatkan efisiensi aliran dengan mengarahkan energi kinetik air secara fokus ke sudu turbin, sementara turbin overshoot memanfaatkan potensi energi gravitasi dari head kecil. Sistem transmisi menggunakan V-belt bertingkat, yang menawarkan efisiensi tinggi hingga 98%, memastikan kehilangan daya mekanis diminimalkan. Kombinasi ini memungkinkan generator magnet permanen menghasilkan daya yang stabil, meskipun terdapat fluktuasi debit air.

Namun, terdapat beberapa tantangan yang memerlukan perhatian lebih lanjut. Salah satunya adalah kebergantungan sistem pada debit air musiman, yang berpotensi menurunkan kapasitas daya selama musim kering. Selain itu, pengotoran pada intake akibat sampah dan sedimen dapat mengurangi efisiensi sistem dan memerlukan desain filter yang lebih baik. Pengujian menunjukkan bahwa dengan peningkatan beban, terdapat penurunan frekuensi dan tegangan, yang menunjukkan bahwa desain turbin masih dapat dioptimalkan untuk menangani beban yang lebih tinggi.

Penelitian ini juga membuka peluang untuk pengembangan sistem hybrid yang mengintegrasikan PLTPH dengan sumber energi lain, seperti panel surya, untuk meningkatkan fleksibilitas dan keberlanjutan pasokan energi. Selain itu, evaluasi jangka panjang terhadap performa komponen, termasuk degradasi material seperti V-belt dan kerangka logam, perlu dilakukan untuk memastikan umur layanan sistem yang lebih lama.

4. KESIMPULAN

Secara keseluruhan, PLTPH yang penelitian ini membuktikan bahwa PLTPH tidak hanya menjadi solusi praktis untuk memenuhi kebutuhan energi di daerah terpencil tetapi juga memberikan kontribusi nyata terhadap transisi energi nasional. Dengan adaptasi teknologi yang sederhana namun efektif, PLTPH dapat menjadi model pengembangan energi terbarukan yang layak untuk direplikasi di berbagai kondisi geografis di Indonesia. Dukungan lebih lanjut dalam aspek kebijakan, insentif ekonomi, dan penguatan infrastruktur dapat mempercepat adopsi teknologi ini untuk mencapai target elektrifikasi nasional dan net zero emission pada 2060.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Institut Teknologi Bandung atas dukungannya dalam riset ini melalui Program Citarum Harum 2022-2023 dan para anggota tim Pikohidro: Gema Wachid Aryasatya, M. Pindhan Bashkoro Hanedro B, Benny Wijaya, Sebastian M. Hutagalung, Michael Kharisma Bintang Y, Rafi Rabbani Firdaus

DAFTAR RUJUKAN

Andolfatto, L., Euzenat, C., Vagnoni, E., Munch-Alligne, C., & Avellan, F. (2015). A mixed standard/custom design strategy to minimize cost and maximize efficiency for

- picohydro power potential harvesting. *2015 5th International Youth Conference on Energy (IYCE)*, (pp. 1–8). <https://doi.org/10.1109/IYCE.2015.7180729>
- Badan Standar Nasional. (2018). SNI 8634:2018 Spesifikasi Teknis Pembangkit Listrik Tenaga Piko hidro. In *Standar Nasional Indonesia*.
- Basar, M. F., Ahmad, A., Hasim, N., & Sopian, K. (2011). Introduction to the pico hydro power and the status of implementation in Malaysia. *2011 IEEE Student Conference on Research and Development*, (pp. 283–288). <https://doi.org/10.1109/SCORED.2011.6148751>
- Bushal, P., Zahnd, A., Eloholma, M., & Halonen, L. (2007). Energy Efficient Innovative Lighting and Energy Supply Solutions in Developing Countries. *International Review of Electrical Engineering*, 2(5), 665–670.
- Choifin, M., Pratian Samsul Putra, A., & Nur Afifah, Y. (2024). Pengujian Alat Pembangkit Listrik Tenaga Pico Hydro (PLTPH) terhadap Keluaran Daya dan Debit Air yang Dihasilkan dengan Variasi Ketinggian Head. *Mechonversio: Mechanical Engineering Journal*, 7(1), 6–14. <https://doi.org/10.51804/mmej.v7i1.16689>
- Corio, D., Kananda, K., Suhaimi, K. S., & Aziz, H. (2020). Analysis of Generating Pico Hydro Power Plants (PLTPH) Case Study: Reservoir E Institut Teknologi Sumatera. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 537(1), 012029. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/537/1/012029>
- Desai, A., Mukhopadhyay, I., & Ray, A. (2014). Theoretical analysis of a Pico-hydro power system for energy generation in rural or isolated area. *2014 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*, (pp. 1–4). <https://doi.org/10.1109/APPEEC.2014.7066043>
- Energypedia. (n.d.). *Pico Hydro Power*. Retrieved December 10, 2024, from https://energypedia.info/wiki/Pico_Hydro_Power#Pico_Hydro_Turbines
- Firdaus, H., Suryadi, D., & Nurhayati, M. (2022). Simulator Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro untuk Modul Praktikum di Laboratorium Konversi Energi. *Seminar Teknologi Majalengka (STIMA)*, 6(0). <https://prosiding.unma.ac.id/index.php/stima/article/view/744>
- Haidar, A. M. A., Senan, M. F. M., Noman, A., & Radman, T. (2012). Utilization of pico hydro generation in domestic and commercial loads. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 518–524. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.08.017>
- Hidayat, M. N., Ronilaya, F., Eryk, I. H., Wibowo, S., & Hakim, L. (2021). Small scale hybrid power generation for remote area electrification. *IOP Conference Series: Materials*

- Science and Engineering*, 1073(1), 012026. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1073/1/012026>
- Jabar, M. A., Golwa, G. V., Prasetyo, C. B., & Kusuma, T. I. (2020). Analisis Efisiensi Keluaran Energi Listrik Prototipe Sistem Pembangkit Tenaga Pico Hydro Menggunakan Jenis Turbin Archimedes-Screw. *Mechanical*, 11(2), 36–43.
- Jawadz, U. R. H., Prasetijo, H., & Purnomo, W. H. (2019). Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Di Aliran Sungai Desa Kejawar Banyumas. *Dinamika Rekayasa*, 15(1), 11. <https://doi.org/10.20884/1.dr.2019.15.1.245>
- Nugroho, B., & Angela, D. (2024). Strategi NGO Lingkungan Greenpeace Indonesia Dalam Mendorong Transisi Energi Baru dan Terbarukan (EBT) di Tengah Kontroversi Realisasi Net Zero Emission (NZE) 2060 di DKI Jakarta. *Ganaya: Jurnal Ilmu Sosial Dan Humaniora*, 3(3), 164–181.
- PLN. (2021). *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) 2021-2030*.
- Poerwantika, R. T., Shylvia Windary, Faturahman Rasyid, & Bebby Estefany Santoso. (2022). Diplomasi Lingkungan: Indonesia Dalam Mewujudkan Transisi Energi Post – COP26. *Jurnal Multidisiplin Madani*, 2(9), 3596–3609. <https://doi.org/10.55927/mudima.v2i9.1182>
- Prasodjo, H. (2023). Green diplomacy as an effort by the Indonesian government in Realizing Net Zero Emission (NZE) in the year 2060. In *Environmental Issues and Social Inclusion in a Sustainable Era*, (pp. 184–190). Routledge.
- Putri, C. A., Sudarti, & Yushardi. (2024). Penggunaan Air sebagai Sumber Energi Terbarukan untuk Energi Listrik. *Scientica: Jurnal Ilmiah Sains Dan Teknologi*, 2(6), 201–204. <https://doi.org/10.572349/scientica.v2i6.1532>
- Siswadi, S., & Nugroho, A. (2020). Pengembangan Model Nosel terhadap Sudu Turbin Air. *MATRIK: Jurnal Manajemen Dan Teknik Industri Produksi*, 21(1), 73–82. <https://doi.org/10.30587/matrik.v21i1.1408>
- Suparman, S., Suyono, H., & Hasanah, R. N. (2018). Desain Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro Terapung (PLTPHT). *Jurnal EECCIS (Electrics, Electronics, Communications, Controls, Informatics, Systems)*, 11(2), 82–88.
- Suprpto, I., & Hasanah, U. (2022). Energi Listrik dan Pembangunan Manusia: Bukti Empiris dari Tingkat Provinsi di Indonesia. *Jurnal Ekonomi Dan Kebijakan Publik Indonesia*, 9(1), 1–19. <https://doi.org/10.24815/ekapi.v9i1.26144>
- Wardhana, A. R., & Marifatullah, W. H. (2020). Transisi Indonesia menuju energi terbarukan. *Tashwirul Afkar*, 38(2).