



Desain Turbin Mikrohidro Berbasis Head Curug Parigi Unjuk Kerja Sistem Hidroenergi

Kholid Alifudin^{*}, Sri Endah Susilowati

Fakultas Teknik dan Informatika, Program Studi Teknik Mesin, Universitas 17 Agustus 1945, Jakarta Utara, Indonesia

Email: ^{1,*}kholidalif12@gmail.com, ²sriendah.susilowati@yahoo.com

Email Penulis Korespondensi: kholidalif12@gmail.com

Abstract—Curug Parigi possesses significant water resource potential that can be utilized for a Micro Hydropower Plant (MHP), particularly in response to the increasing energy demand in Bekasi, which is characterized by dense residential areas and intensive industrial activities. This condition highlights the need for sustainable and decentralized local energy solutions. This study aims to analyze the hydropower potential of Curug Parigi, determine the most suitable type of turbine, and design a turbine applicable to the site conditions. Data were collected through direct field measurements using the float method to determine flow velocity and river cross-sectional measurements to calculate discharge and head. The main hydraulic parameters include an average flow rate of 2.64 m³/s, water flow velocity of 0.46 m/s, and an effective head of 2.8 m. Based on the analysis of water potential energy, assuming a water density of 1,000 kg/m³ and gravitational acceleration of 9.81 m/s², the available energy potential is considered sufficient for electricity generation. Evaluation of hydrological and topographical conditions indicates that a cross-flow turbine is the most suitable option, as it operates efficiently under low to medium head conditions with relatively high flow rates. In this study, the turbine efficiency is assumed to be 75%. The design results show that the turbine runner length is 1,300 mm, the total shaft length is 1,700 mm, and the shaft diameter is 80 mm, which is verified to be safe based on torque and shear stress analysis. Therefore, the results confirm that Curug Parigi is feasible for micro hydropower development, and the proposed turbine design can serve as a technical reference for implementing sustainable, locally based energy systems.

Keywords: Curug Parigi; Cross-Flow Turbine; Turbine Design; Potensi Hidrolika; Mikrohidro

Abstrak—Curug Parigi memiliki potensi sumber daya air yang dapat dimanfaatkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), terutama mengingat meningkatnya kebutuhan energi di kawasan Bekasi yang didominasi aktivitas industri dan permukiman padat, sehingga memerlukan alternatif energi lokal yang berkelanjutan dan terdesentralisasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi hidrolika Curug Parigi, menentukan jenis turbin yang paling sesuai, serta merancang turbin air yang dapat diaplikasikan pada kondisi lokasi tersebut. Data diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan menggunakan metode pelampung untuk kecepatan aliran dan pengukuran geometri sungai untuk menentukan debit dan head. Parameter hidrolika utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi debit aliran rata-rata sebesar 2,64 m³/s, kecepatan aliran air sebesar 0,46 m/s, dan tinggi jatuh efektif sebesar 2,8 m. Berdasarkan analisis energi potensial air dengan massa jenis air 1.000 kg/m³ dan percepatan gravitasi 9,81 m/s², diperoleh potensi energi yang layak untuk dikonversi menjadi energi listrik. Evaluasi terhadap kondisi hidrologi dan topografi menunjukkan bahwa turbin air jenis cross-flow merupakan pilihan yang paling sesuai untuk diterapkan, karena mampu beroperasi secara efisien pada kondisi head rendah hingga menengah dengan debit relatif besar. Dalam penelitian ini, efisiensi turbin diasumsikan sebesar 75%. Hasil perancangan menunjukkan bahwa panjang runner turbin adalah 1.300 mm, panjang poros total 1.700 mm, dan diameter poros desain 80 mm, yang dinyatakan aman berdasarkan analisis torsi dan tegangan geser. Dengan demikian, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Curug Parigi berpotensi dikembangkan sebagai PLTMH dan desain turbin yang dihasilkan dapat dijadikan acuan teknis dalam pengembangan sistem energi lokal berbasis potensi air yang berkelanjutan.

Kata Kunci: Curug Parigi; Cross-Flow Turbine; Desain Turbin; Potensi Hidrolika; Mikrohidro

1. PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan energi listrik di Provinsi Jawa Barat, khususnya di kawasan industri seperti Bekasi, menimbulkan tekanan terhadap sistem kelistrikan terpusat yang belum sepenuhnya adaptif terhadap lonjakan beban. Kondisi ini memperkuat urgensi pengembangan sistem energi terdesentralisasi berbasis potensi lokal, terutama pada wilayah dengan sumber daya air yang belum dimanfaatkan secara optimal (Solihat et al., 2019). Salah satu pendekatan yang relevan adalah pemanfaatan energi mikrohidro pada lokasi dengan head rendah dan debit relatif stabil (Susilowati & Imamuddin, 2022).

Dalam konteks penelitian mikrohidro, fokus pengembangan teknologi saat ini bergeser pada optimalisasi sistem untuk kondisi head rendah (<10 m), bahkan hingga ultra-low head (<5 m). Studi terbaru menunjukkan bahwa turbin crossflow dan Kaplan menjadi dua pilihan dominan dalam kondisi tersebut. Penelitian oleh Picone et al. menunjukkan bahwa pada head sangat rendah (<5 m), turbin Kaplan dan Archimedes screw mampu mencapai efisiensi di atas 85%, namun dengan kompleksitas sistem yang lebih tinggi. Di sisi lain, turbin crossflow tetap banyak digunakan karena kesederhanaan konstruksi dan fleksibilitas operasional, meskipun efisiensinya umumnya berada pada rentang 70–85% (Picone et al., 2023).

Penelitian lain yang dilakukan pada lokasi PLTMH di Malang oleh Syafiudin et al. membandingkan performa turbin Kaplan dan crossflow pada kondisi debit dan head menengah. Hasilnya menunjukkan bahwa turbin Kaplan memiliki efisiensi lebih tinggi ($\pm 83\%$) dibanding crossflow ($\pm 80,5\%$), namun memerlukan sistem kontrol yang lebih kompleks dan biaya investasi yang lebih besar (Muhammad Syafiudin et al., 2025). Sementara itu, studi eksperimental dan numerik oleh Abbas et al. menekankan pentingnya optimasi komponen runner dan stator dalam meningkatkan efisiensi turbin Kaplan pada head rendah sekitar 3 m (Amano et al., 2019).



Di sisi lain, pendekatan optimasi turbin crossflow terus berkembang melalui metode parametrik dan simulasi numerik. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa modifikasi rasio diameter runner dan jumlah sudu dapat meningkatkan efisiensi hingga lebih dari 72% pada kondisi head rendah, bahkan dengan desain sederhana tanpa guide vane (Ham et al., 2024). Selain itu, penggunaan pendekatan Computational Fluid Dynamics (CFD) memungkinkan optimasi performa turbin secara lebih presisi, terutama dalam meminimalkan losses dan meningkatkan konversi energi pada kondisi aliran yang tidak stabil (Duah et al., 2025).

Meskipun berbagai penelitian tersebut telah memberikan kontribusi signifikan, sebagian besar studi masih berfokus pada optimasi komponen turbin secara parsial, seperti desain runner, sudu, atau nozzle. Selain itu, penelitian umumnya dilakukan dalam skala laboratorium atau berbasis simulasi, sehingga belum sepenuhnya mengakomodasi kompleksitas kondisi lapangan, seperti variasi debit aktual, keterbatasan geometri lokasi, serta integrasi desain mekanik secara keseluruhan (Saleh et al., 2019).

Jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu di lokasi lain, terdapat beberapa perbedaan mendasar dalam pendekatan penelitian ini. Pertama, penelitian sebelumnya cenderung berfokus pada perbandingan jenis turbin (Kaplan vs crossflow) atau optimasi parameter fluida dan runner, sedangkan penelitian ini mengintegrasikan analisis hidrolika dengan perancangan mekanik secara komprehensif, termasuk optimasi dimensi poros berdasarkan analisis torsi dan tegangan geser. Kedua, penelitian ini tidak hanya mengevaluasi efisiensi teoritis, tetapi juga mempertimbangkan efisiensi aktual berbasis kondisi lapangan, sehingga lebih representatif terhadap implementasi nyata. Ketiga, pendekatan yang digunakan mengombinasikan metode pengukuran langsung dengan desain teknis, berbeda dengan studi sebelumnya yang dominan menggunakan simulasi numerik atau asumsi ideal (Sinaga & Marcelino, 2023).

Dengan demikian, kesenjangan penelitian terletak pada belum adanya kajian yang mengintegrasikan secara sistematis antara parameter hidrolika lapangan, pemilihan jenis turbin, serta optimasi desain mekanik dalam satu kerangka analisis terpadu pada kondisi head rendah. Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis potensi energi mikrohidro di Curug Parigi berdasarkan pengukuran debit dan head secara langsung, (2) melakukan evaluasi komparatif terhadap jenis turbin yang sesuai dengan karakteristik hidrolika lokasi, serta (3) merancang turbin crossflow yang optimal dengan pendekatan integratif yang mencakup analisis hidrolika, efisiensi sistem, dan optimasi dimensi mekanik seperti poros turbin. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan desain PLTMH yang lebih aplikatif, efisien, dan sesuai dengan kondisi lapangan pada sistem energi terdesentralisasi.

2. METODELOGI PENELITIAN

2.1 Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental dan deskriptif analitik, dengan tujuan untuk mengidentifikasi potensi energi mikrohidro di lokasi studi dan menentukan spesifikasi teknis turbin air yang sesuai berdasarkan parameter hidrologi dan topografi. Pendekatan ini dipilih agar data yang diperoleh dapat dianalisis secara *numeric* dan digunakan sebagai dasar perhitungan daya *output*, efisiensi, serta pemilihan jenis turbin yang optimal.

2.2 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Curug Parigi, Kota Bekasi, Jawa Barat, yang memiliki karakteristik aliran sungai kontinu dan kondisi elevasi yang memungkinkan penerapan PLTMH. Lokasi dipilih berdasarkan kriteria teknis seperti ketersediaan debit air, ketinggian jatuh (*head*), aksesibilitas, dan kedekatan dengan masyarakat yang berpotensi menjadi pengguna listrik.

2.3 Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

a. Studi Lapangan

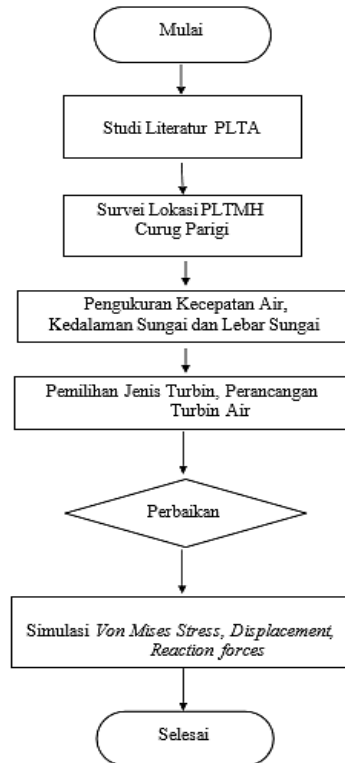
1. Pengukuran debit air sungai dari kecepatan dan luas sungai.
2. Dokumentasi kondisi lingkungan dan potensi lokasi PLTMH.

b. Pengumpulan Data Teknis

1. Pengambilan data debit dilakukan dalam rentang waktu tertentu untuk memperoleh rata-rata debit.
2. Pengukuran kedalaman, dan kecepatan aliran dilakukan di beberapa titik untuk validitas data.

Gambar 1 menunjukkan alur penelitian yang dimulai dari studi literatur, kemudian dilanjutkan dengan survei lokasi di Curug Parigi dan pengukuran parameter hidrolika seperti kecepatan aliran, kedalaman, dan lebar sungai. Data yang diperoleh digunakan untuk pemilihan jenis turbin dan perancangan turbin air. Selanjutnya, pada Gambar 1 dilakukan tahap evaluasi atau perbaikan desain yang diikuti dengan simulasi untuk menganalisis kekuatan dan kinerja turbin. Proses diakhiri setelah seluruh tahapan perancangan dan analisis selesai dilakukan.

Berikut Gambar 1 alur kerja penelitian untuk studi kelayakan PLTMH:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengukuran Lebar dan Kedalaman Sungai

Pengukuran lebar sungai dilakukan secara langsung di lapangan dengan menarik alat ukur melintang dari tepi sungai sebelah kiri hingga tepi sungai sebelah kanan pada masing-masing titik pengamatan. Pengukuran dilakukan tegak lurus terhadap arah aliran sungai untuk memperoleh nilai lebar yang merepresentasikan kondisi penampang aliran. Data lebar sungai yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai parameter dalam perhitungan luas penampang aliran, yang dihitung berdasarkan hasil perkalian antara lebar sungai dan kedalaman rata-rata aliran (Saidah et al., 2023).

Tabel 1. Data hasil pengukuran

No.	Titik Pengukuran	Lebar Sungai (m)
1	Titik 1	7,6
2	Titik 2	8,1
3	Titik 3	8,4

Tabel 2. Data hasil pengukuran kedalaman

No.	Titik Pengukuran	Kedalaman Sungai (m)
1	Titik 1	0,68
2	Titik 2	0,72
3	Titik 3	0,75

3.2 Luas Penampang Sungai

Luas penampang aliran sungai dihitung berdasarkan hasil pengukuran lebar dan kedalaman sungai pada masing-masing titik pengamatan. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan pendekatan penampang sederhana, yaitu hasil perkalian antara lebar sungai dan kedalaman sungai pada setiap titik. Nilai luas penampang yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perhitungan debit aliran sungai (Fachrurroji et al., 2024).

Tabel 3. Data Lebar, Kedalaman, dan Luas Penampang Aliran Sungai

No.	Titik Pengukuran	Lebar Sungai (m)	Kedalaman Sungai (m)	Luas Penampang A (m ²)
1	Titik 1	7,6	0,68	5,17
2	Titik 2	8,1	0,72	5,83
3	Titik 3	8,4	0,75	6,30

3.3 Pengukuran Kecepatan Air Sungai

Kecepatan aliran air diukur secara langsung di lapangan menggunakan metode pelampung (*float method*) dengan melemparkan benda terapung ringan, disini peneliti menggunakan bola pimpong pada permukaan air dan mencatat waktu yang diperlukan untuk melewati jarak lintasan tertentu secara *horizontal*. Nilai waktu yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung kecepatan aliran dengan membagi panjang lintasan dengan waktu tempuh. Kecepatan rata-rata pada setiap titik diperoleh dari beberapa kali pengukuran untuk mengurangi kesalahan, dan kemudian digunakan dalam perhitungan debit aliran sungai (Sumardiyanto & Hidayat, 2019).

Tabel 4. Kecepatan Aliran Air pada Beberapa Titik

No.	Titik Pengukuran	Kecepatan Aliran (m/s)
1	Titik 1	0,42
2	Titik 2	0,50
3	Titik 3	0,45
v	—	0,46

3.4 Perhitungan Debit Aliran Sungai

Debit aliran sungai dihitung berdasarkan hasil pengukuran luas penampang aliran dan kecepatan aliran air pada masing-masing titik pengamatan. Luas penampang aliran diperoleh dari hasil perkalian antara lebar sungai dan kedalaman sungai, sedangkan kecepatan aliran ditentukan dari hasil pengukuran langsung di lapangan. Selanjutnya, debit aliran dihitung menggunakan persamaan $Q = v \cdot A$. Nilai debit rata-rata diperoleh dari rata-rata debit pada seluruh titik pengamatan dan digunakan sebagai debit representatif sungai.

Tabel 5. Perhitungan Debit Aliran Sungai pada Setiap Titik

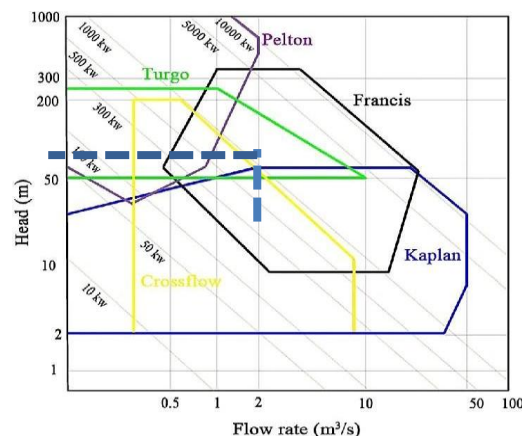
No	Titik Pengukuran	Luas Penampang, A (m ²)	Kecepatan Aliran, v (m/s)	Debit Aliran, Q (m ³ /s)
1	Titik 1	5,17	0,42	2,17
2	Titik 2	5,83	0,50	2,92
3	Titik 3	6,30	0,45	2,84
Rata-rata		5,77	0,46	2,64

Pengukuran *head* atau tinggi jatuhan air dilakukan secara langsung di lapangan dengan menggunakan pipa panjang sebagai alat bantu pengukuran perbedaan elevasi. Pipa ditempatkan mengikuti selisih ketinggian antara permukaan air pada titik pengambilan air dan permukaan air pada bagian bawah aliran sungai. Selisih ketinggian yang diperoleh dinyatakan sebagai *head* kotor (*gross head*). Berdasarkan hasil pengukuran lapangan, tinggi jatuhan air berada pada kisaran 2,8 m yang selanjutnya digunakan sebagai nilai *head* dalam perhitungan potensi energi dan daya pembangkit listrik tenaga mikrohidro.

Dari hasil pengukuran di lapangan diperoleh:

$$H = 2.8 \text{ (m)}$$

Pemilihan jenis turbin air dilakukan dengan mempertimbangkan karakteristik sumber daya air, khususnya besarnya debit aliran dan tinggi jatuhan air (*head*). Hubungan antara debit dan *head* terhadap jenis turbin yang sesuai dapat ditunjukkan melalui diagram klasifikasi turbin air, yang mengelompokkan turbin berdasarkan rentang operasi optimalnya. Melalui diagram tersebut, jenis turbin yang tepat dapat ditentukan sehingga sistem pembangkit dapat beroperasi secara efisien dan andal. Diagram pemilihan turbin berdasarkan debit dan *head* tersebut ditunjukkan pada Gambar 2, yang diadaptasi dari *Layman's Guide to Hydro* oleh *European Small Hydropower Association (ESHA)*.



Gambar 2. Grafik turbin air (Saidiman et al., 2025)



Gambar 2 menunjukkan klasifikasi jenis turbin air berdasarkan hubungan antara debit aliran (flow rate) dan tinggi jatuhnya air (head). Setiap area pada diagram merepresentasikan rentang operasi optimal dari masing-masing turbin seperti Pelton, Turgo, Francis, Kaplan, dan Crossflow. Berdasarkan Gambar 2, kondisi penelitian dengan head rendah ($\pm 2-5$ m) dan debit menengah ($\pm 1-5$ m³/s) berada pada wilayah operasi turbin Crossflow dan Kaplan. Namun, dengan mempertimbangkan kesederhanaan konstruksi, kemudahan perawatan, serta kesesuaian dengan kondisi lapangan, turbin Crossflow dipilih sebagai alternatif yang paling tepat. Diagram ini menjadi dasar dalam menentukan jenis turbin agar sistem PLTMH dapat bekerja secara optimal dan efisien.

Pemilihan jenis turbin air pada penelitian ini didasarkan pada karakteristik sumber daya air yang telah diperoleh dari hasil pengukuran lapangan, yaitu debit aliran sungai dan tinggi jatuhnya air (*head*). Berdasarkan perhitungan sebelumnya, debit aliran sungai rata-rata yang diperoleh adalah sekitar 2,64 m³/s, sedangkan tinggi jatuhnya air yang tersedia berada pada kisaran $\pm 2,8$ m. Nilai *head* tersebut termasuk dalam kategori *head* rendah, sementara debit aliran tergolong menengah hingga relatif besar untuk skala pembangkit listrik tenaga mikrohidro.

Berdasarkan diagram pemilihan turbin air yang mengaitkan antara debit dan *head* (Layman's Guide to Hydro – ESHA), kondisi operasi dengan *head* rendah ($\pm 2-5$ m) dan debit menengah (sekitar 1–5 m³/s) berada pada wilayah kerja turbin *Crossflow* dan Kaplan, di gambar pada garis putus-putus. Namun, untuk aplikasi PLTMH skala kecil, turbin Kaplan umumnya memerlukan sistem pengaturan sudu yang lebih kompleks dan biaya manufaktur yang lebih tinggi. Sebaliknya, turbin *Crossflow* memiliki konstruksi yang lebih sederhana, mudah dalam perawatan, serta mampu beroperasi dengan baik pada variasi debit aliran.

Dengan mempertimbangkan kondisi *head* yang rendah, debit aliran yang cukup besar, serta aspek teknis dan ekonomis, maka jenis turbin yang paling sesuai untuk digunakan pada penelitian ini adalah turbin *Crossflow*. Turbin ini dinilai mampu memberikan kinerja yang stabil dan efisien pada kondisi aliran yang tersedia, sehingga cocok diterapkan pada sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro yang dirancang.

3.5 Perancangan Turbin Crossflow

Perancangan turbin Crossflow dilakukan dengan menggunakan data hidrologi dan karakteristik aliran air yang telah diperoleh melalui pengukuran lapangan. Langkah-langkah perhitungan meliputi penentuan daya teoretis, efisiensi turbin, dan dimensi dasar turbin Crossflow.

1. Data Input Dasar

Berdasarkan hasil pengukuran:

Debit aliran rata-rata, $Q = 2,64$ m³/s

Head efektif, $H = 2,8$ m

Massa jenis air, $\rho = 1000$ kg/m³

Percepatan gravitasi, $g = 9,81$ m/s²

2. Perhitungan Daya Teoretis (Potensi Energi)

Persamaan daya teoretis energi potensial aliran:

$$P_{teoretis} = \rho g Q H \quad (1)$$

Substitusi nilai:

$$P_{teoretis} = 1000 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \times 9,81 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \times 2,64 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \times 2,8 (\text{m})$$

$$P_{teoretis} = 1000 \times 9,81 \times 2,64 \times 2,8$$

$$P_{teoretis} = 72\,403,79 \text{ W}$$

$$P_{teoretis} = 72,40 \text{ kW}$$

3. Efisiensi Turbin Crossflow

Turbin Crossflow umumnya memiliki efisiensi total (turbin + generator) dalam rentang 70%–80% pada kondisi operasi optimal menurut literatur hidropower skala kecil. Untuk perancangan ini diasumsikan nilai efisiensi total:

$$\eta = 0,75$$

Maka daya output yang dihasilkan:

$$P_{output} = P_{teoretis} \times \eta$$

$$P_{output} = 72,40 \times 0,75$$

$$P_{output} = 54,40 \text{ kW}$$

Dari potensi teoretis sekitar 72,40 kW, dengan efisiensi 75% diperoleh daya efektif sekitar 54,40 kW yang dapat dimanfaatkan sebagai output listrik dari turbin Crossflow.

4. Perhitungan Kecepatan Masuk Turbin

Sebelum menentukan dimensi, perlu diketahui kecepatan aliran masuk turbin:



$$v = \frac{Q}{A} \quad (2)$$

Di mana:

$$A = \text{luas penampang inlet} = b \times h$$

Namun, karena turbin Crossflow menggunakan sudu dan gaya aliran diarahkan melalui penampang rotor, dimensi masuk turbin dirancang sebagai inlet yang menyesuaikan kepala dan debit. Untuk perancangan sederhana dan penentuan jumlah sudu, kita gunakan nilai kecepatan aliran rata-rata dari hasil pengukuran:

$$v = 0,46 \text{ m/s}$$

Nilai ini sesuai dengan metode pelampung yang telah dilakukan.

5. Perancangan Dimensi Dasar Turbin Crossflow

Secara umum, dimensi utama turbin Crossflow yang perlu ditentukan adalah:

a. Diameter Rotor (D)

Menurut referensi desain Crossflow pada PLTMH maka Diameter dihitung:

$$D = K_D \sqrt{\frac{Q}{H}} \quad (3)$$

dengan K_D adalah konstanta desain (umumnya 0,33–0,45 untuk turbin Crossflow skala kecil). Maka digunakan $K_D = 0,40$:

$$D = 0,40 \sqrt{\frac{2,64}{2,8}}$$

$$D = 0,40 \sqrt{0,942857}$$

$$D = 0,40 \times 0,9710$$

$$D = 0,3884 \text{ m}$$

b. Lebar Turbin (B)

Lebar turbin Crossflow dapat diasumsikan sebanding dengan debit:

$$B = K_B Q^{0,5} \quad (4)$$

dengan $K_B = 0,70$:

$$B = 0,70(2,64)^{0,5}$$

$$B = 0,70 \times 1,624$$

$$B = 1,14 \text{ m}$$

c. Jumlah Sudu (N)

Penentuan jumlah sudu ditentukan oleh:

$$N = \frac{\pi D}{s} \quad (5)$$

dimana s adalah jarak antar sudu. Untuk turbin Crossflow, perhitungannya adalah:

$$s = 0,06 D$$

Maka:

$$s = 0,06(0,3884)$$

$$s = 0,0233 \text{ m}$$

Sehingga:

$$N = \frac{\pi(0,3884)}{0,0233}$$

$$N = \frac{1,219}{0,0233} = 52 \text{ sudu}$$

d. Panjang Runner (L)

Penentuan panjang runner ditentukan oleh:

$$L = \frac{0,75 Q}{D_0 \sqrt{H}}$$

$$L = \frac{0,75 \times 2,64}{0,91 \times 1,673}$$

$$L = \frac{1,98}{1,523}$$



$$L = 1.30 \text{ m}$$

6. Penentuan Diameter Poros Turbin Cross-Flow

Poros turbin berfungsi untuk mentransmisikan daya mekanik yang dihasilkan runner menuju generator. Oleh karena itu, poros harus dirancang mampu menahan torsi maksimum yang bekerja tanpa melampaui batas tegangan ijin material.

a. Data perhitungan

Daya mekanik pada poros diperoleh dari daya turbin setelah efisiensi, yaitu:

1) Daya turbin yaitu:

$$P = 54,4 \text{ kW}$$

2) Kecepatan putar turbin

$$n = 151 \text{ rpm}$$

Poros diasumsikan menerima torsi murni, sehingga analisis dilakukan berdasarkan teori tegangan geser maksimum.

b. Perhitungan torsi poros

Hubungan antara daya, torsi, dan kecepatan putar dinyatakan sebagai:

$$P = \frac{2\pi NT}{60}$$

Sehingga torsi poros dapat dituliskan:

$$T = \frac{60P}{2\pi N}$$

Dengan mensubstitusikan nilai yang diketahui:

$$T = \frac{60 \times 54\,400}{2\pi \times 151}$$

$$T = 3\,440 \text{ N.m}$$

Dengan demikian, torsi maksimum yang bekerja pada poros turbin adalah sekitar $T = 3,440 \text{ kN.m}$

c. Kriteria tegangan geser ijin

Poros direncanakan menggunakan baja karbon konstruksi yang umum digunakan pada aplikasi turbin air skala kecil hingga menengah. Untuk mempertimbangkan faktor keamanan terhadap fluktuasi beban, ketidaksejajaran (misalignment), dan getaran, digunakan tegangan geser ijin konservatif sebesar:

$$\tau_{ijin} = 40 \text{ Mpa}$$

d. Penentuan diameter poros

Untuk poros pejal berbentuk silinder, tegangan geser maksimum akibat torsi dinyatakan dengan persamaan:

$$\tau = \frac{16T}{\pi d^3}$$

Sehingga diameter poros minimum dapat ditentukan dari:

$$d = \left(\frac{16T}{\pi \tau_{ijin}} \right)^{1/3}$$

Substitusi nilai torsi dan tegangan geser ijin memberikan:

$$d = \left(\frac{16 \times 3\,440}{\pi \times 40 \times 10^6} \right)^{1/3}$$

$$d = 0,076 \text{ m}$$

$$d = 76 \text{ mm} = 80 \text{ mm}$$

e. Diameter poros desain

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa diameter poros minimum yang dibutuhkan untuk menahan torsi kerja adalah 76 mm. Untuk kemudahan manufaktur, kesesuaian dengan ukuran bearing standar, serta peningkatan faktor keamanan, diameter poros dibulatkan ke atas dan dipilih:

$$d_{desain} = 80 \text{ mm}$$

7. Ringkasan Desain Turbin Crossflow

Perancangan turbin Crossflow dilakukan dengan memanfaatkan data hidrologi yang diperoleh dari pengukuran lapangan, yaitu debit aliran rata-rata sebesar 2,64 m³/s dan head efektif sekitar 2,8 m. Potensi daya teoretis dihitung menggunakan persamaan $P = \rho g Q H$, menghasilkan sekitar 72,40 kW. Dengan asumsi efisiensi total turbin dan

generator sebesar 75%, diperoleh daya output efektif sekitar 54,30 kW. Dimensi turbin Crossflow dirancang dengan menentukan diameter rotor sekitar 388,4 mm dan lebar turbin sekitar 1,14 m. Jumlah sudu turbin ditetapkan sekitar 52 buah untuk memenuhi kondisi debit dan *head* operasi. Perancangan ini menunjukkan bahwa turbin Crossflow layak digunakan pada kondisi sumber daya air yang tersedia (Nibbi et al., 2022).

Tabel 6. Hasil perhitungan Turbin Cross Flow

Parameter	Nilai
Debit, Q	2,64 m ³ /s
Head, H	2,8 m
Daya Teoretis	72,40 kW
Efisiensi Total	0,75
Daya Output	54,30 kW
Diameter Rotor, D	388,4 mm
Lebar Turbin, B	1,14 m
Jumlah Sudu, N	52
Panjang Runner, L	1,30 m
Diameter Poros, d	80 mm

8. Penentuan Panjang Poros Turbin Cross-Flow

Panjang poros turbin harus lebih besar dari panjang runner untuk mengakomodasi pemasangan bearing, seal, dan elemen transmisi daya. Pada turbin cross-flow, runner tidak diperkenankan dipasang berdekatan langsung dengan bearing karena dapat menimbulkan konsentrasi tegangan dan kesulitan perakitan (Alfredsen et al., 2022). Dalam desain turbin air skala kecil-menengah, panjang tambahan poros di sisi kiri dan kanan runner umumnya dirancang sebesar 10–20% dari panjang runner. Untuk keperluan manufaktur dan gambar teknik, nilai tambahan yang lazim dan aman adalah 200 mm pada masing-masing sisi poros.

Diketahui panjang runner:

$$L = 1300 \text{ mm}$$

Panjang tambahan poros:

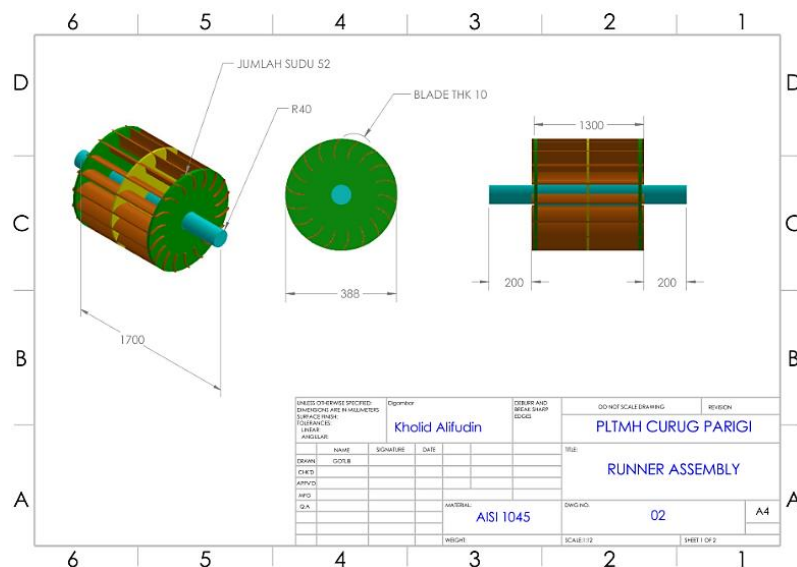
$$L_{\text{kiri}} = 200 \text{ mm}, L_{\text{kanan}} = 200 \text{ mm}$$

Sehingga panjang total poros adalah:

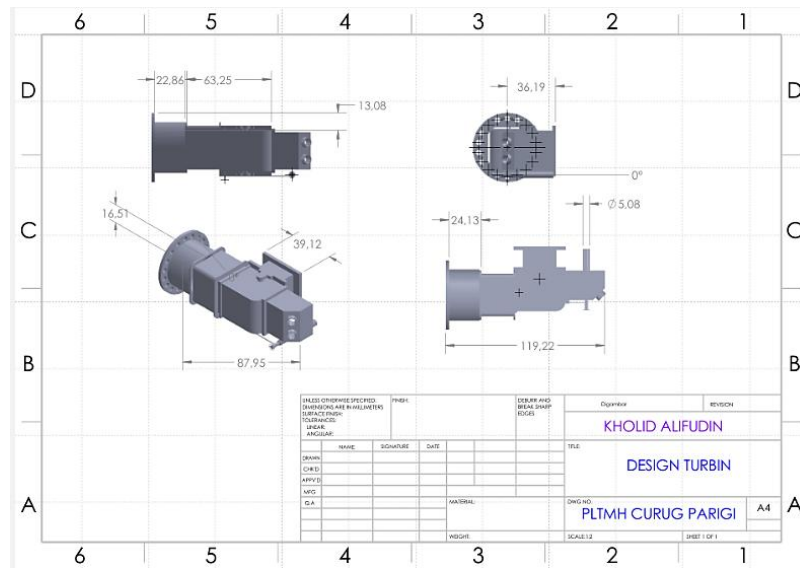
$$L_{\text{poros}} = L + L_{\text{kiri}} + L_{\text{kanan}}$$

$$L_{\text{poros}} = 1300 + 200 + 200 = 1700 \text{ mm}$$

Dengan demikian, panjang poros turbin yang direkomendasikan adalah 1700 mm. Nilai ini memberikan ruang yang cukup untuk pemasangan bearing, seal, dan kopling, serta aman untuk proses perakitan dan operasi.



Gambar 3. Runner assembly Curug Parigi Project



Gambar 4. Turbin shaft assembly

Gambar 3 menampilkan desain *runner assembly* turbin crossflow yang terdiri dari susunan sudu melingkar dengan jumlah 52 buah, diameter sekitar 388 mm, serta panjang runner ± 1300 mm. Pada Gambar 3 juga terlihat konfigurasi poros sepanjang ± 1700 mm yang berfungsi sebagai elemen transmisi daya dari runner ke generator. Desain ini menunjukkan bahwa dimensi runner telah disesuaikan dengan kondisi debit dan head di Curug Parigi, sehingga mampu mengoptimalkan penangkapan energi aliran air. Susunan sudu yang merata berperan dalam meningkatkan efisiensi konversi energi serta menjaga kestabilan putaran turbin (Rahayu & Windarta, 2022).

Gambar 4 memperlihatkan detail desain poros turbin beserta komponen pendukungnya dalam berbagai tampilan proyeksi dan isometrik. Dimensi poros dirancang dengan mempertimbangkan distribusi beban torsi dan tegangan geser, sehingga mampu menahan beban operasional turbin secara aman (Wells & Sharifian, 2024). Pada Gambar 4 juga terlihat bagian kedudukan bearing dan sambungan mekanik yang berfungsi menjaga kestabilan rotasi serta mengurangi getaran selama operasi (Vlaviorine & Widianingsih, 2023). Desain ini menunjukkan bahwa sistem transmisi telah dirancang secara struktural untuk mendukung kinerja turbin crossflow secara optimal dan berkelanjutan (Quaranta et al., 2023).

Perancangan turbin crossflow pada penelitian ini menunjukkan integrasi antara parameter hidrolika dan desain mekanik yang saling mendukung (Murni & Suryanto, 2021). Berdasarkan hasil pengukuran di Curug Parigi, diperoleh debit aliran sebesar $2,64 \text{ m}^3/\text{s}$ dan head efektif 2,8 m, yang termasuk dalam kategori head rendah dengan debit menengah. Kondisi ini secara teoritis sesuai untuk penggunaan turbin crossflow karena mampu bekerja optimal pada variasi debit dan head rendah (Widiana et al., 2020).

Pada Gambar 3, desain *runner assembly* memperlihatkan konfigurasi sudu sebanyak 52 buah dengan diameter sekitar 388 mm dan panjang runner 1300 mm. Jumlah sudu yang relatif banyak menunjukkan upaya untuk meningkatkan interaksi antara aliran air dan permukaan sudu, sehingga energi kinetik air dapat dikonversi secara lebih maksimal menjadi energi mekanik. Selain itu, panjang runner yang cukup besar disesuaikan dengan debit aliran agar kapasitas aliran yang masuk ke turbin dapat terakomodasi secara optimal tanpa menyebabkan kehilangan energi yang signifikan.

Dari sisi performa, desain runner pada Gambar 3 juga mempertimbangkan distribusi aliran yang merata pada seluruh permukaan sudu. Hal ini penting untuk menjaga kestabilan putaran turbin dan meminimalkan turbulensi yang dapat menurunkan efisiensi (Hayes et al., 2023). Dengan pendekatan ini, turbin diharapkan mampu mencapai efisiensi dalam kisaran 70–80%, sesuai dengan karakteristik umum turbin crossflow pada skala mikrohidro (Ika Febriana Wati et al., 2019).

Selanjutnya, Gambar 4 menunjukkan desain poros dan sistem transmisi yang dirancang untuk menahan beban torsi hasil konversi energi. Diameter poros sebesar 80 mm dipilih berdasarkan analisis tegangan geser maksimum dengan mempertimbangkan faktor keamanan. Dimensi ini menunjukkan bahwa poros telah dirancang tidak hanya untuk menahan beban statis, tetapi juga beban dinamis akibat fluktuasi aliran air dan getaran selama operasi (Ferdyson & Windarta, 2023).

Selain itu, konfigurasi kedudukan bearing dan elemen transmisi pada Gambar 4 memperlihatkan perhatian terhadap stabilitas sistem rotasi (Lee et al., 2025). Penempatan bearing yang tidak terlalu dekat dengan runner bertujuan untuk mengurangi konsentrasi tegangan serta mempermudah proses perawatan. Desain ini juga mendukung umur pakai komponen yang lebih panjang serta mengurangi risiko kegagalan mekanik (Modjo, 2020).

Secara keseluruhan, hasil perancangan menunjukkan bahwa turbin crossflow yang dikembangkan telah memenuhi aspek teknis baik dari sisi hidrolika maupun mekanik. Integrasi antara dimensi runner, jumlah sudu, serta kekuatan poros menghasilkan sistem yang tidak hanya efisien, tetapi juga layak untuk diaplikasikan pada kondisi nyata.



Dengan demikian, desain ini dapat dijadikan acuan dalam pengembangan PLTMH skala kecil yang berbasis potensi lokal.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis potensi hidrolika dan perancangan turbin pada lokasi Curug Parigi, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut: Berdasarkan hasil pengukuran lapangan dan perhitungan hidrolika diperoleh debit aliran rata-rata sebesar 2,64 m³/s, kecepatan aliran rata-rata 0,46 m/s, serta tinggi jatuh efektif (*head*) sebesar 2,8 m. Dengan parameter tersebut diperoleh potensi daya teoretis aliran air sebesar 72,40 kW. Dengan asumsi efisiensi sistem turbin dan generator sebesar 75%, maka daya listrik yang berpotensi dihasilkan adalah sekitar 54,30 kW, sehingga Curug Parigi memiliki potensi yang layak untuk dikembangkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Berdasarkan karakteristik debit dan *head* yang tergolong *head* rendah dan debit menengah, jenis turbin yang paling sesuai adalah turbin *Crossflow*. Hasil perancangan menunjukkan dimensi utama turbin yaitu diameter rotor 388,4 mm, lebar turbin 1,14 m, dan jumlah sudu 52 buah. Panjang *runner* dirancang 1,30 m, sedangkan diameter poros yang aman terhadap torsi kerja adalah 80 mm dengan panjang poros total 1.700 mm untuk mengakomodasi pemasangan *bearing* dan sistem transmisi. Dengan demikian, desain turbin yang diperoleh secara teknis dapat digunakan sebagai dasar perancangan sistem PLTMH di Curug Parigi.

REFERENCES

- Alfredsen, K., Juárez-Goméz, A., Refaei Kenawi, M. S., Graf, M. S., & Saha, S. K. (2022). Mitigation of environmental effects of frequent flow ramping scenarios in a regulated river. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.944033>
- Amano, R. S., Qandil, M., Abbas, A., & Al-Haddad, M. (2019, January 7). Performance Investigation of Very-Low-Head Kaplan Hydro-Turbines. *AIAA Scitech 2019 Forum*. <https://doi.org/10.2514/6.2019-0241>
- Duah, I. K., Sekyere, C. K. K., Kemausuor, F., & Amaning, K. A. (2025). Micro hydropower research and practice over the last decade for advancing decentralized energy access. *Discover Sustainability*, 7(1), 128. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-02375-3>
- Fachruroji, Wahyudi, M. F., Mubarak, R., & Munawar, A. (2024). Comparative Analysis Of On-Grid And Off-Grid Solar Panel Installations In A Building With A Requirement Of 60.5 KWp. *Journal of Electronic and Electrical Power Applications*, 4(2), 272–278. <https://doi.org/10.58436/jeepe.v4i2.2079>
- Ferdyson, F., & Windarta, J. (2023). Overview Pemanfaatan dan Perkembangan Sumber Daya Energi Surya Sebagai Energi Terbarukan di Indonesia. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 4(1), 1–6. <https://doi.org/10.14710/jebt.2023.15714>
- Ham, S., Adeeb, E., Lee, J. W., & Ha, H. (2024). Numerical evaluation of low-head inverted cross-flow turbine design method: A comprehensive study. *Energy Conversion and Management*, 311, 118521. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118521>
- Hayes, D. S., Bruno, M. C., Alp, M., Boavida, I., Batalla, R. J., Bejarano, M. D., Noack, M., Vanzo, D., Casas-Mulet, R., Vericat, D., Carolli, M., Tonolla, D., Halleraker, J. H., Gosselin, M.-P., Chiogna, G., Zolezzi, G., & Venus, T. E. (2023). 100 key questions to guide hydropeaking research and policy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 187, 113729. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113729>
- Ika Febriana Wati, I., Febriana Wati, I., Ajeng Fabela, E., Miftahul Jannah, Y., & Yuniawatika, Y. (2019). The Implementation of Zapira Portable by Maximizing the Potential Source in Rural Area. *Proceedings of the 5th International Conference on Education and Technology (ICET 2019)*. <https://doi.org/10.2991/icet-19.2019.5>
- Lee, J., Tarannum, S. S., Shrestha, U., Adeeb, E., Ham, S., Kim, S.-J., Park, J., Ko, K.-H., Choi, Y.-D., & Ha, H. (2025). Francis turbine instabilities during off-design and transient operations: A comprehensive review of the state-of-the-art and recent research and development. *Energy Conversion and Management: X*, 28, 101384. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2025.101384>
- Modjo, S. (2020). PLN vs Energi Terbarukan: Peraturan Menteri ESDM Terkait Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap. *Jurnal Hukum Lingkungan Indonesia*, 6(1), 19–40. <https://doi.org/10.38011/jhli.v6i1.89>
- Muhammad Syafiudin, Resi Dwi Jayanti Kartika Sari, & Rahman Arifuddin. (2025). Potensi dan Perbandingan Turbin Crossflow dengan Turbin Kaplan PLTMH Wisata Telaga. *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 12(2), 85–90. <https://doi.org/10.33795/elposys.v12i2.7221>
- Murni, S. S., & Suryanto, A. (2021). Analisis Efisiensi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Menggunakan HOMER (Studi Kasus PLTMH Parakandowo Kabupaten Pekalongan). *Jurnal Listrik, Instrumentasi Dan Elektronika Terapan (JuLIET)*, 1(2). <https://doi.org/10.22146/juliet.v1i2.61282>
- Nibbi, L., Sospino, P., De Lucia, M., & Wu, C.-C. (2022). Improving Pumped Hydro Storage Flexibility in China: Scenarios for Advanced Solutions Adoption and Policy Recommendations. *Energies*, 15(21), 7918. <https://doi.org/10.3390/en15217918>
- Picone, C., Sinagra, M., Gurnari, L., Tucciarelli, T., & Filianoti, P. G. F. (2023). A New Cross-Flow Type Turbine for Ultra-Low Head in Streams and Channels. *Water*, 15(5), 973. <https://doi.org/10.3390/w15050973>



- Quaranta, E., Bejarano, M. D., Comoglio, C., Fuentes-Pérez, J. F., Pérez-Díaz, J. I., Sanz-Ronda, F. J., Schletterer, M., Szabo-Meszaros, M., & Tuhtan, J. A. (2023). Digitalization and real-time control to mitigate environmental impacts along rivers: Focus on artificial barriers, hydropower systems and European priorities. *Science of The Total Environment*, 875, 162489. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162489>
- Rahayu, L. N., & Windarta, J. (2022). Tinjauan Potensi dan Kebijakan Pengembangan PLTA dan PLTMH di Indonesia. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 3(2), 88–98. <https://doi.org/10.14710/jebt.2022.13327>
- Saidah, A., Deacy, A., Khana, R., & Pratama, J. E. (2023). Testing Simulation in the River of Archimedes Screw Turbine on the Cilember River in Bogor Using SolidWorks Software. *Proceedings of the 4th International Seminar and Call for Paper*, 399–405. <https://doi.org/10.5220/0012583100003821>
- Saidiman, M., Dewi, R. K., & Supriyono, T. (2025). Rancangan Turbin Kaplan 100 kW: Studi kasus pada sistem PLTA skala kecil. *Sainteks: Jurnal Sain dan Teknik*, 7(01), 23–40. <https://doi.org/10.37577/sainteks>
- Saleh, Z., Apriani, Y., Ardianto, F., & Purwanto, R. (2019). Analisis Karakteristik Turbin Crossflow Kapasitas 5 Kw. *Jurnal Surya Energy*, 3(2), 255. <https://doi.org/10.32502/jse.v3i2.1484>
- Sinaga, M., & Marcelino, J. (2023). Studi Potensi Pembangkit Listrik Mikrohidro (Pltmh) Sungai Cikuluwung Di Desa Bogor. *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, 8(1), 55–64.
- Solihat, I., Astuti, E. T., & Rudiati, H. (2019). Analisa Pengujian Turbin Air Jenis Crossflow Terhadap Variasi Debit. Sumardiyanto, D., & Hidayat, M. F. (2019). Desain Kincir Air Sederhana Untuk Pembangkit Listrik Desa Sipayung, Kecamatan Sukajaya Kabupaten Bogor Jawa Barat. *Jurnalberdikari*, 2(1), 6–14.
- Susilowati, E. S., & Imamuddin. (2022). Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dengan Daya 50 Watt Menggunakan Compact Disc Bekas. *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, (tahun), 1–8. <http://journal.uta45jakarta.ac.id/index.php/jktm/index>
- Vlavorine, E., & Widianingsih, L. P. (2023). Penggunaan Energi Terbarukan, Skor Esg, Biaya Modal Dan Biaya Operasional Pada Kinerja Keuangan. *Jurnal Akuntansi Kontemporer*, 15(2), 97–112. <https://doi.org/10.33508/jako.v15i2.4423>
- Wells, K., & Sharifian, A. (2024). Design of short Venturi flow meters for incompressible and isothermal flow applications. *Heliyon*, 10(7), e29311. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29311>
- Widiana, I. N., Giriantari, I. A. D., & Setiawan, I. N. (2020). Perancangan Penstock (Pipa Pesat) Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di Banjar Dinas Mekarsari, Desa Panji, Kecamatan Sukasada, Kabupaten Buleleng. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 19(2), 235. <https://doi.org/10.24843/MITE.2020.v19i02.P16>