

# Potensi dan Perbandingan Turbin Crossflow dengan Turbin Kaplan PLTMH Wisata Telaga

Muhammad Syafiudin<sup>\*a)</sup>, Resi Dwi Jayanti Kartika Sari<sup>a)</sup>, Rahman Arifuddin<sup>a)</sup>

(Received 08 Mei 2025 || Revised 05 Juni 2025 || Published 30 Juni 2025)

**Abstract:** Microhydro power plants (MHP) present a sustainable energy solution, especially for rural and remote areas like Telaga Jiwa in Sumber Porong Village, Malang. This study aims to evaluate the site's hydro energy potential and determine the most efficient turbine type between Kaplan and Crossflow for application in a small-scale MHP system. Field measurements of water discharge were conducted using the float-area method, while head elevation was obtained through Google Earth data combined with direct site verification. The analysis revealed an average discharge of 0.354 m<sup>3</sup>/s and an effective head of 9.35 meters, producing a theoretical power output of 24.13 kW. Based on performance analysis, the Kaplan turbine achieved an efficiency of 83%, slightly higher than the 80.5% efficiency of the Crossflow turbine, indicating Kaplan's suitability for relatively stable flow and medium head conditions. The total system efficiency, accounting for turbine, generator, and transmission losses, reached 72%. This output is sufficient to provide electricity to approximately 86 households with an average daily consumption of 4.7 kWh. The study concludes that implementing an MHP at this location is technically feasible and can contribute significantly to rural electrification, reducing fossil fuel dependency, and supporting national energy resilience. The findings also offer a technical reference for future microhydro development in similar geographic and hydrological conditions.

**Keywords:** Microhydro Power Plant, Kaplan Turbine, Crossflow Turbine, Float-Area Method, Renewable Energy, Sumber Porong.

## 1. Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) merupakan bentuk energi baru terbarukan yang memanfaatkan aliran air sebagai sumber energi. Teknologi ini cocok diterapkan di wilayah dengan potensi sumber daya air melimpah seperti Indonesia, yang memiliki potensi tenaga air sebesar 75.000 MW, namun baru sekitar 13,5% yang dimanfaatkan [1]. PLTMH menawarkan berbagai keunggulan seperti efisiensi tinggi, biaya operasional rendah, dan dampak lingkungan minimal. Kebutuhan listrik nasional terus meningkat akibat pertumbuhan penduduk dan pembangunan ekonomi [2], sementara ketergantungan pada bahan bakar fosil dan kenaikan harga BBM membebani penyedia listrik seperti PLN. Oleh karena itu, energi terbarukan seperti PLTMH menjadi solusi yang relevan dalam mendukung keberlanjutan energi [3]. Dalam konteks ini, pemanfaatan energi terbarukan seperti PLTMH menjadi solusi penting untuk mendukung transisi energi yang berkelanjutan dan memperkuat ketahanan energi nasional [4].

Beberapa studi sebelumnya telah mengkaji potensi pengembangan PLTMH di wilayah Kabupaten Malang. Misalnya, Trissiana (2019) dalam penelitiannya di kawasan wisata Air Terjun Sumberwangi Desa Tirtomarto mengidentifikasi potensi teknis air terjun sebagai sumber energi alternatif [1]. Suwignyo dan M. Irfan (2019) juga melakukan kajian serupa di Desa Karangsuksa [2], Kecamatan Pagelaran, serta pada skala kabupaten secara umum bersama dkk. (2024), yang menekankan pentingnya penentuan lokasi berdasarkan debit dan kontur geografis [3]. Namun, studi-studi tersebut lebih menekankan pada identifikasi lokasi dan potensi PLTMH secara umum, belum membandingkan secara teknis performa berbagai jenis turbin dalam lokasi yang sama.

Penelitian sebelumnya adalah kurangnya studi empiris yang membandingkan efektivitas turbin Crossflow dan Kaplan secara langsung pada lokasi spesifik yang berpotensi dikembangkan menjadi PLTMH. Novelty dari penelitian ini adalah penggunaan pendekatan komparatif berbasis parameter teknis aktual (debit, ketinggian, efisiensi) pada lokasi yang telah ditentukan, yang belum banyak dilakukan dalam konteks nasional. Hasil studi diharapkan menjadi acuan teknis dan perencanaan jangka menengah untuk pengembangan energi terbarukan.

Telaga Jiwa Desa Sumber Porong Malang merupakan lokasi potensial pengembangan PLTMH karena keberadaan aliran air yang stabil, dekat dengan kawasan wisata, pemukiman, dan rumah sakit. Pemanfaatan PLTMH di lokasi ini dapat mendukung kemandirian energi, meningkatkan kesejahteraan masyarakat, serta menjadi model penerapan energi terbarukan di tingkat lokal. Penelitian ini akan membandingkan efektivitas dua jenis turbin populer, yaitu Crossflow (vertikal) dan Kaplan (horizontal), dalam konteks PLTMH di Telaga Jiwa. Hasil studi diharapkan menjadi acuan teknis dan perencanaan jangka menengah untuk pengembangan energi terbarukan.

## 2. Metode

### 2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian merupakan hal yang sangat penting dalam penentuan dari PLTMH. Kriteria yang harus dipenuhi adalah ketersediaan debit air yang cukup stabil, tinggi jatuh air yang memadai, serta karakteristik topografi dan geologi yang mendukung pembangunan infrastruktur PLTMH.

### 2.2 PLTMH

PLTMH adalah sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan aliran air sungai untuk menghasilkan energi listrik dalam skala diantara 0,5 kW hingga 100 kW. Pada dasarnya PLTMH ini memiliki persamaan yang bisa dibayangkan dalam rumus (2-1).

$$P = Q \times g \times h \times \mu \quad (2-1)$$

Persamaan (2-1) berperan penting dalam pelaksanaan PLTMH. Selain itu komponen pendukung seperti *waterway*, bak penenang, pipa pesat. *Waterway* adalah saluran meminimalkan kehilangan energi potensial dan agar bisa lebih stabil. Standar *Waterway* ini diatur dalam SNI (Standar Nasional Indonesia), ESHA (*European Small Hydropower Association*), serta untuk mencari kemiringan dari saluran ini dapat dengan Persamaan Manning (2-2).

$$S = \frac{v \times n}{R^{2/3}} \quad (2-2)$$

Persamaan (2-2) digunakan untuk mencari dari kemiringan saluran. Kemiringan saluran beton biasanya 0,1–5% menurut ESHA. Setelah dari *waterway* masuk bak penenang berfungsi mengurangi turbulensi air sebelum air masuk pipa pesat. Dimensi dari bak penenang banyak diatur dalam SNI. Kapasitas dari bak

\*Korespondensi: [syafiudin1379@gmail.com](mailto:syafiudin1379@gmail.com)

a) Prodi Teknik Elektro, Jurusan Teknik, Universitas Merdeka Malang  
Jl. Terusan Raya Dieng No. 62-64 Malang, Indonesia

penenang 10 hingga 25 kali dari debit yang masuk agar dipastikan aliran air tetap stabil [4]. Dari bak penenang ini masuk ke pipa pesat, yaitu pipa yang digunakan untuk mengalirkan air dari bak penenang menuju ke turbin. Kemiringan saluran, luas penampang serta jari-jari hidrolis sangat berpengaruh dalam pipa pesat. Dari nilai tersebut mempengaruhi dari kecepatan aliran serta rugi daya yang ditimbulkan Pada standar ASCE (*American Society of Civil Engineers*), yang merekomendasikan kecepatan aliran dalam pipa pesat sekitar 2-3 m/s [5]. Mencari kerugian dengan persamaan DarcyWeisbach, terdapat dua kerugian yaitu *Major Losses* menggunakan Persamaan (2-3) dan *Minor Losses* menggunakan Persamaan (2-4).

$$Kerugian\ Utama\ (h_{major}) = \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (2-3)$$

$$Kerugian\ Kecil\ (h_{minor}) = \sum K \frac{v^2}{2g} \quad (2-4)$$

Persamaan (2- 3) dan Persamaan (2- 4) merupakan Persamaan DarcyWeisbach yang memperhitungkan kehilangan energi akibat gesekan dalam aliran fluida nyata pada aliran tertutup [6].

Turbin air merupakan mesin konversi energi yang mengubah energi potensial air diubah menjadi energi mekanis. Turbin Kaplan adalah turbin yang menggunakan air sebagai fluida kerjanya. Turbin Kaplan termasuk kelompok turbin air reaksi jenis baling baling [7]. Banyak faktor yang mempengaruhi turbin Kaplan dari kecepatan keliling, diameter runner, Diameter Hub, kecepatan putar dari turbin, area efektif aliran dan ecepatan aliran di runner. Dari banak factor tersebut mempengaruhi dari efisiensi dan kerugian dari turbin kapan. Persamaan (2- 5) dengan rumus dasarnya merupakan rumus Darcy & Weisbach menghitung *head loss* (kehilangan energi) akibat gesekan dalam aliran fluida. Terdapat pula perhitungan efisiensi volumetric menggunakan persamaan (2-6), efisiensi volumetric ini diatur di ESHA.

$$P_{loss\ hidro\ kaplan} = \zeta \cdot \rho \cdot Q \cdot \frac{v_{runner}^2}{2} \quad (2-5)$$

$$\eta_v\ (efisiensi\ volumetrik) = Q/Q_d \quad (2-6)$$

Turbin Crossflow merupakan turbin impuls atau turbin yang memanfaatkan dari kecepatan air. Factor yang mempengaruhi dari turbin crossflow seperti kecepatan jet, luasan area nozzle, kecepatan putaran turbin dan kecepatan aliran. Semua faktor tersebut nantinya akan mempengaruhi dari efisiensi. Persamaan (2-1) digunakan untuk menghitung efisiensi nozzle dari nilai koefisien kecepatan nozzle yang dikuadratkan, hal ini berdasarkan IEC 60193:2019 [8]. Efisiensi runner dihitung sebesar 90% turbin komersial menggunakan Persamaan (2-8) [9]. Efisiensi mekanis sebesar 97% untuk turbin crossflow ini (Persamaan 2-9) didasarkan IEC 60193:2019 [8].

$$Efisiensi\ Nozzle\ (\eta_{nozzle}) = K v^2 \quad (2-7)$$

$$Efisiensi\ Runner\ (\eta_{runner}) = 90\% \quad (2-8)$$

$$Efisiensi\ Mekanis\ (\eta_{mekanis}) = 97\% \quad (2-9)$$

Pipa hisap memiliki fungsi untuk menghisap air dari turbin dan mengembalikan aliran air yang masih bertekanan ke pembuangan atau atmosfer yaitu saluran air sesuai dari aliran sungai. Analisis pipa hisap mempertimbangkan dimensi optimal yang tujuan utama adalah untuk meminimalkan kerugian energi dan risiko kavitasi. sudut divergensi pipa hisap dikatakan aman jika bawah batas maksimum 10° untuk meminimalkan separasi [10].

Generator adalah alat pengubah energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin menjadi energi listrik dengan perhitungan daya generator seperti pada Persamaan (2-10).

$$P_g = P_h \times \eta_{Gen} \quad (2-10)$$

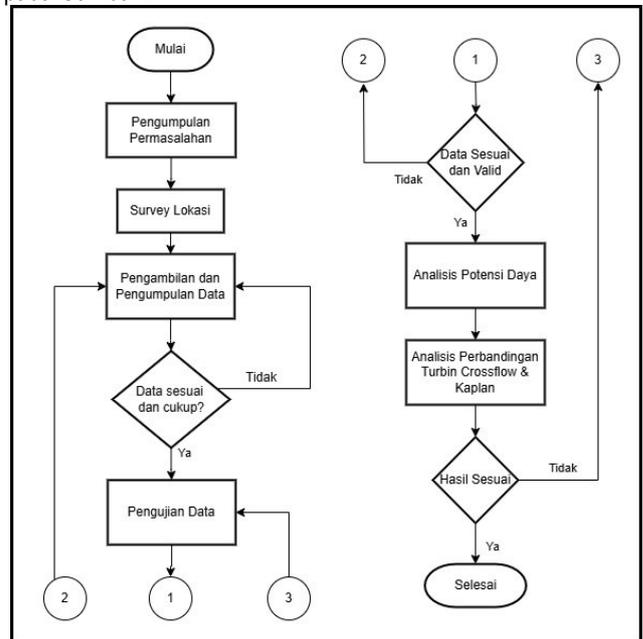
Daya yang pada generator yang nantinya bisa dimanfaatkan sebagai tenaga listrik. Panel kontrol memonitoring dan mengontrol dari keluaran listrik yang dihasilkan oleh PLTMH. Tegangan, arus dan frekuensi listrik yang dihasilkan oleh generator dimonitoring pada box panel ini. Panel ini terdiri dari banyak instrumen di dalamnya, instrumen ini berfungsi selain memonitoring dan mengontrol juga berfungsi mengamankan dan menghindari dari gangguan lisrik, agar keluaran arus listrik. Perhitungan teknis untuk panel kontrol PLTMH, mencakup KHA (Kemampuan Hantar Arus) kabel, proteksi (pengaman), dan komponen kritis lainnya berdasarkan standar elektroteknik. KHA, sesuai dengan KHA kabel > 125% dari arus beban sesuai dari standar pada SNI dan PUIL[11]. Pemilihan MCCB sebagai pengaman utama mengacu pada standar IEC 60898-1, dengan rating arus minimal 125–150% dari arus beban [12]. Komponen grounding turut diperhatikan, dengan sistem pentanahan dirancang agar resistansi <5 Ω sesuai standar IEEE Std 80 demi keselamatan operasional [12].

**2.3 Metode Penelitian**

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif untuk menghitung potensi daya listrik dari aliran air di Desa Sumber Porong, Malang. Lokasi dipilih karena memiliki debit air stabil dan elevasi yang mendukung pembangkitan energi. Data dianalisis secara numerik menggunakan Excel dan divalidasi secara manual agar sesuai teori. Hasil diharapkan mendukung pemanfaatan energi ramah lingkungan dan mengurangi ketergantungan pada energi fosil.

**2.4 Diagram Alir Penelitian**

Tahapan awal hingga akhir dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.1.



**GAMBAR 2. 1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN**

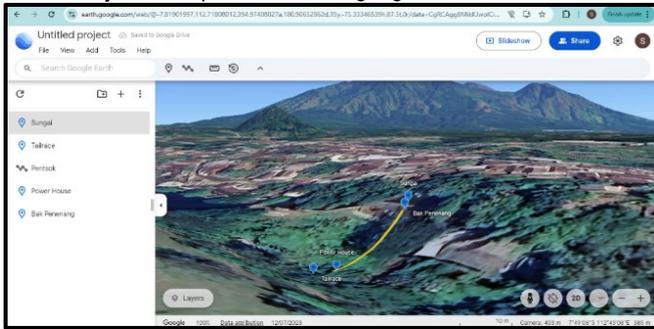
Berdasarkan Gambar 2.1 penelitian dimulai dengan penentuan lokasi potensial untuk pembangunan PLTMH, dilanjutkan dengan identifikasi permasalahan yang ada di masyarakat sekitar. Setelah itu dilakukan survei lapangan untuk mengumpulkan data kondisi fisik lokasi. Pengambilan data teknis seperti kecepatan aliran air, luas penampang sungai, dan tinggi jatuh air dilakukan secara

langsung di lapangan. Data yang diperoleh kemudian diuji untuk memastikan kecukupan dan validitasnya. Jika data dinyatakan sesuai dan valid, proses dilanjutkan dengan analisis potensi daya untuk menghitung estimasi energi listrik yang dapat dihasilkan. Apabila hasil analisis menunjukkan kesesuaian dengan metode yang digunakan, maka studi potensi PLTMH dinyatakan selesai dan dapat disusun dalam bentuk laporan.

### 3. Hasil dan Pembahasan

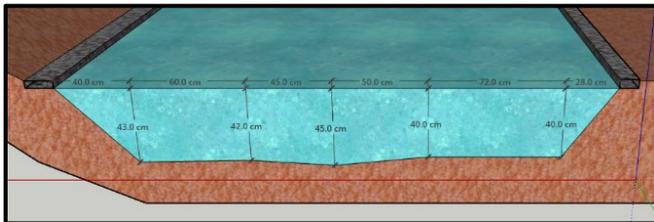
#### 3.1 Karakteristik Lokasi Penelitian

Karakteristik lokasi penelitian meliputi lokasi geografis, karakteristik aliran air, hingga potensi energi yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik. Pemilihan lokasi sangat penting dalam studi PLTMH karena memengaruhi debit air, tinggi jatuh (head), serta faktor topografi dan lingkungan yang berdampak pada desain sistem. Lokasi penelitian berada di Desa Sumber Porong, Kecamatan Lawang, Kabupaten Malang. Berikut Gambar 3.1 menunjukkan tampilan lokasi dari *google earth*.



GAMBAR 3. 1 LOKASI PENELITIAN BERDASARKAN *GOOGLE EARTH*

Pada peta *Google Earth* di Gambar 3.1, jarak antara bak penenang dan power house yang diukur menggunakan fasilitas di *Google Earth* mendapatkan hasil sekitar 30 meter. Perbedaan elevasi sekitar 10,7 meter ini menciptakan tekanan air yang akan digunakan untuk menghasilkan listrik. Dimensi sungai untuk mengetahui kapasitas aliran air yang akan disalurkan ke turbin, visualisasi dari dimensi sungai yang di desain pada Gambar 3.2 berikut.



GAMBAR 3. 2 VISUALISASI SUNGAI

Visualisasi bentuk profil sungai dapat dilihat pada Gambar 3.2 juga menunjukkan data yang digunakan untuk menghitung kecepatan dan debit, serta sebagai dasar desain sistem penyaluran air menuju turbin. Dari data tersebut didapatkan luas sungai 1,09  $m^2$ . Pengukuran kecepatan aliran air dilakukan menggunakan Metode *Float Area* (Metode Apung), yaitu dengan mengamati waktu tempuh objek apung dari titik A ke titik B sepanjang aliran sungai [13]. Dari hasil pengukuran didapatkan hasil sebagai berikut pada tabel 3.1.

TABEL 3. 1 PENGUKURAN KECEPATAN ALIRAN

No	Tanggal	Waktu (s)
1	07/03/2025	12,0
2	07/03/2025	10,7
3	07/03/2025	11,7
4	09/03/2025	11,7
5	09/03/2025	13,2
6	09/03/2025	13,2
7	11/03/2025	12,6
8	11/03/2025	12,7
9	11/03/2025	13,1
Rata-Rata		12,3

Berdasarkan data Tabel 3.1, waktu tercepat 10,7 detik dan waktu 13,2 detik, dengan rata-rata 12,3 detik. Fluktuasi ini dipengaruhi oleh variasi kecepatan aliran, kedalaman dan bentuk dasar sungai, kemiringan saluran. Jarak titik A ke titik B (d) 4 meter sehingga kecepatan aliran air dan debit air adalah sebagai berikut.

$$\text{Kecepatan (v)} = \frac{d}{t} = \frac{4}{12,3} = 0,324 \text{ m/s}$$

$$\text{Debit (Q)} = a/V = 1,093/0,324 = 0,354 \text{ m}^3/\text{s}$$

Dengan debit sebesar 0,354  $m^3/s$ , sistem ini memiliki potensi sebagai PLTMH. Data curah hujan di Indonesia dapat diperoleh dari BMKG. Berikut adalah data curah hujan ditampilkan di Tabel 3.2 dari BMKG yang telah diolah untuk periode April 2024 hingga April 2025.

TABEL 3. 2 CURAH HUJAN DARI APRIL 2024-APRIL 2025 BMKG

Bulan	rr (mm)	Rata-rata
Apr-24	300,1	10,003
May-24	2,5	0,081
Jun-24	25,5	0,850
Jul-24	3,6	0,116
Aug-24	73,5	2,450
Sep-24	44,4	1,480
Oct-24	177,3	5,719
Nov-24	153,8	5,127
Dec-24	357,9	11,545
Jan-25	376,1	12,132
Feb-25	289,2	10,329
Mar-25	227,8	7,348
Apr-25	76,5	2,550

Sumber : BMKG data diolah

Pengukuran dimensi sungai dan kecepatan aliran dilakukan pada Maret 2025, dengan curah hujan bulanan sebesar 227,8 mm. Dari informasi dari masyarakat setempat, debit sungai relatif stabil sepanjang tahun karena sumber mata air permanen dan tangkapan air dari wilayah hulu. Hal ini menunjukkan bahwa curah hujan tidak sepenuhnya mempengaruhi debit secara langsung. Namun, untuk perencanaan konservatif, penurunan musim kemarau tetap perlu diperhitungkan. Debit air diasumsikan menurun dari debit rata-rata 0,354  $m^3/s$  menjadi 0,25  $m^3/s$ . Sehingga Faktor Kapasitas (CF) adalah sebagai berikut.

$$CF = \frac{0,25 \text{ m}^3/\text{s}}{0,354 \text{ m}^3/\text{s}} = 70 \%$$

Nilai CF sebesar 70% ini sesuai dengan standar IRENA yang menyatakan bahwa PLTMH skala kecil di Asia Tenggara memiliki CF rata-rata 65% – 75% [14].

### 3.2 Perhitungan Spesifikasi dan Daya PLTMH

Daya listrik dari aliran sungai dihitung menggunakan Persamaan 2.1 menghasilkan nilai sebesar  $P = 29,771$  kW. Selain menggunakan perhitungan manual, daya juga dihitung dengan software Casimir, yang dirancang khusus untuk simulasi potensi energi mikrohidro. Pada Gambar 3.3 ditampilkan hasil perhitungan menggunakan Casimir.

Annual parameters			
Table		About	
Annual energy production	257.46 MWh	Financial return (7.57 Cent/kWh) 19747.42 Euro	
Mean parameters			
Power	29.39 kW	Maximum	29.39 kW
Efficiency	80.00 %	Minimum	29.39 kW
Mean discharge	0.35 m <sup>3</sup> /s	80.00 %	80.00 %
Usable discharge	0.35 m <sup>3</sup> /s	0.35 m <sup>3</sup> /s	0.35 m <sup>3</sup> /s
Head	10.70 m	0.35 m <sup>3</sup> /s	0.35 m <sup>3</sup> /s
Daily energy	705.38 kWh	10.70 m	10.70 m
Turbine flow	0.35 m <sup>3</sup> /s	705.38 kWh	705.38 kWh
Discharge weir	0.00 m <sup>3</sup> /s	0.35 m <sup>3</sup> /s	0.35 m <sup>3</sup> /s
Discharge weir	0.00 m <sup>3</sup> /s	0.00 m <sup>3</sup> /s	0.00 m <sup>3</sup> /s
Volume of discharge			
Annual discharge	11037600.00 m <sup>3</sup>		
Usable discharge	11037600.00 m <sup>3</sup>	Discharge weir	0.00 m <sup>3</sup>
Turbines	11037600.00 m <sup>3</sup>		
Energy utilization ratio			
	80.00 %		
Settings			
Discharge	Constant	0.35 m <sup>3</sup> /s	
Minimum flow regulation	Constant	0.00 m <sup>3</sup> /s	
Head	Constant	10.70 m	
Efficiency	Constant	80.00 %	
Turbine Q min	0.33 m <sup>3</sup> /s		
Turbine Q max	0.41 m <sup>3</sup> /s	File No name	
High water switch point	0.50 m <sup>3</sup> /s		

GAMBAR 3.3 HASIL PERHITUNGAN DAYA PLTMH DENGAN CASIMIR

Dari Gambar 3.3, terdapat selisih daya sebesar  $\pm 0,38$  kW antara hasil perhitungan manual dan hasil simulasi Casimir. Meskipun demikian, perbedaan tersebut masih dalam batas yang wajar dan tidak mempengaruhi kelayakan teknis pembangunan PLTMH secara keseluruhan.

Pipa pesat berfungsi untuk menyalurkan air dari bak penenang ke turbin dengan kecepatan tinggi, memungkinkan konversi energi potensial air menjadi energi mekanik untuk menghasilkan listrik. Perhitungan dimensi dari pipa pesat berpengaruh terhadap efisiensi. Hasil dari perhitungan penstok ini semua dapat direkap dengan hasil pada Tabel 3.3 berikut. Dari hasil perhitungan yang direkap pada Tabel 3.3 diharapkan penstok bekerja dengan maksimal jika direalisasikan.

TABEL 3.3 SPESIFIKASI PENSTOK

Panjang Horizontal (L)	30 m
Diameter Pipa (D)	0.45 m (pipa HDPE)
Kecepatan aliran penstok (v)	2,67 m/s
Tinggi jatuh efektif (h)	8,98 m
Kerugian Daya(Ploss)	1,25 kW
Efisiensi ( $\eta$ )	96%
Daya Efektif Penstok(P)	31,219 kW

Turbin Kaplan merupakan turbin reaksi yang cocok untuk lokasi dengan tinggi jatuh rendah dan debit besar. Perhitungan turbin Kaplan ini sesuai dengan standar yang berlaku pada teori sebelumnya. Hasil dari perhitungan Turbin kaplan direkap dengan hasil pada Tabel 3.4 berikut. Dengan spesifikasi pada Tabel 3.4 tersebut diharapkan dari turbin kaplan ini bekerja dengan maksimal.

TABEL 3.4 SPESIFIKASI TURBIN KAPLAN

Diameter Runner (D)	59,1 cm
Diameter Hub (Dh)	0,23 m <sup>2</sup>
Daya Turbin kaplan (Pkaplan)	25,95 Kw
Efisiensi turbin Kaplan ( $\eta_{kaplan}$ )	83%

Turbin Crossflow adalah turbin impuls yang sering digunakan dalam PLTMH. Perhitungan turbin Crossflow ini sesuai dengan standar yang berlaku pada teori sebelumnya. Dari data turbin crossflow, berikut pada tabel 3.5 ditampilkan rekapitulasi dari seluruh perhitungan. Dengan spesifikasi pada tabel 3.5 tersebut maka diharapkan desain Turbin Crossflow diharapkan maksimal.

TABEL 3.5 SPESIFIKASI TURBIN CROSSFLOW

kecepatan jet (Vjet)	12,742 m/s
Diameter Nozzle (dnozzle)	18,8 cm
Putaran turbin (N)	182,6 rpm
kecepatan aliran (Valiran)	3,76 m/s
Jumlah sudu (n)	31
Efisiensi total ( $\eta_{total}$ )	80,5%
Daya Turbin crossflow (Pcrossflow)	25,117 Kw

Perbandingan antara turbin Kaplan dan Crossflow berdasarkan daya yang dihasilkan, efisiensi, serta aspek teknis lainnya dapat dilihat hasilnya pada tabel 3.6 berikut. Berdasarkan Tabel 3.6, didapatkan turbin kaplan memiliki efisiensi yang lebih baik. Maka dari itu peneliti merekomendasikan turbin kaplan karena memiliki efisiensi lebih tinggi.

TABEL 3.6 PERBANDINGAN DAYA & EFISIENSI TURBIN

Aspek	Kaplan	Crossflow
Efisiensi ( $\eta$ )	83%	80,5%
Rugi Daya (Ploss)	5,26 Kw	6,101 Kw
Daya (Pturbin)	25,95 Kw	25,117 Kw

Jenis generator yang dipilih adalah generator sinkron, karena beberapa alasan teknis yaitu memiliki stabilitas frekuensi dan efisiensi tinggi. Berdasarkan kebutuhan daya, efisiensi, dan keandalan, maka dipilih generator Stamford AvK S1L2-J1. Generator ini dianggap sesuai karena memiliki kapasitas daya, efisiensi, serta kecepatan putar yang mendukung kinerja PLTMH. Generator mempunyai efisiensi yang cukup tinggi yaitu 93%, serta memiliki kecepatan sebesar 1500 rpm. penyesuaian pada gearbox sesuai dengan diatas yaitu memiliki perbandingan sebesar 1,8 : 1. Berikut pada Tabel 3.7 ditampilkan hasil perhitungan daya dan data generator.

TABEL 3.7 SPESIFIKASI GENERATOR

Merk generator	Stamford AvK S1L2-J1
Kecepatan generator	1500 rpm
Efisiensi generator ( $\eta_{generator}$ )	93%
Rasio gearbox	1,8 : 1
Daya generator (Pgen)	24,13 Kw

Panel kontrol ini merupakan hal yang cukup penting sebagai distribusi dari Generator menuju ke jaringan transmisi. Selain sebagai distributor, panel kontrol juga dilengkapi dengan proteksi pengamanan. Berikut pada Tabel 3.8 ditampilkan spesifikasi panel kontrol.

TABEL 3. 8 SPESIFIKASI KOMPONEN PANEL KONTROL

Arus (I)	43,14 A
KHA	53,93 A
Kabel	NYY 4x10 mm <sup>2</sup>
Arus pengaman (Ip)	64,71 A
Pengaman	Schneider 3P 60 A
AVR	AVR Matsuyama DBW - SKD - 30 GS 30 KVA
ELC	25kW , Protel Multi Energi

### 3.3 Analisa Teknis

Pemilihan jenis turbin merupakan faktor utama dalam menentukan kinerja sistem PLTMH. Pada Tabel 3.9 ditampilkan perbandingan Turbin Kaplan dan Turbin Crossflow.

TABEL 3. 9 PERBANDINGAN KARAKTERISITIK TURBIN

Turbin Kaplan	Turbin Crossflow
Efisiensi 83%	Efisiensi 80,5%
Konstruksi Rumit	Konstruksi Sederhana
Perawatan Rumit	Perawatan Lebih Mudah
Harga lebih mahal	Harga lebih murah

Dari tabel 3.9 dapat diketahui jika efisiensi turbin kaplan lebih optimal digunakan untuk kondisi *head* rendah dan debit besar seperti pada telaga ini, karena mampu memberikan efisiensi hingga 83%. PLTMH ini terdiri dari beberapa komponen utama seperti pipa pesat, turbin, dan generator. Efisiensi masing-masing komponen secara estimatif adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\eta_{total} &= \eta_{generator} \times \eta_{kaplan} \times \eta_{penstok} \\ \eta_{total} &= 90\% \times 83\% \times 96\% \\ \eta_{total} &= 72\%\end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas didapatkan efisiensi total sistem 72%, yang masih dalam batas wajar untuk sistem PLTMH skala kecil [15]. Daya penggunaan sehari-hari digunakan untuk mencari dari PLTMH ini dapat mensuplai berapa rumah nantinya. Diambil contoh data daya yang terpasang 4 A, didapatkan penggunaan harian rata-rata 4,7 kWh maka:

$$\begin{aligned}\text{Energi Harian dibangkitkan} &= P \times 24 \text{ hour} \times CF \\ \text{Energi Harian dibangkitkan} &= 24,13 \times 24 \times 0,7 \\ \text{Energi Harian dibangkitkan} &= 405,5 \text{ kWh}\end{aligned}$$

Dan dari data tersebut diketahui PLTMH ini dapat mensuplai energi ke rumah sebanyak:

$$\begin{aligned}\text{jumlah rumah} &= 405,5 \text{ kWh} / 4,7 \text{ kWh} \\ \text{jumlah rumah} &= 86,27 = 86 \text{ rumah}\end{aligned}$$

Hasil di atas menunjukkan Jumlah ini cukup untuk memenuhi kebutuhan listrik bagi sekitar 86 rumah tangga, dengan asumsi konsumsi masing-masing rumah sebesar 4,7 kWh per hari. Turbin Kaplan memerlukan perawatan teknis yang lebih kompleks serta tenaga ahli yang memahami karakteristik dan komponen sistem secara menyeluruh. Informasi dari salah satu penjaga wisata Telaga menunjukkan bahwa saat ini kawasan tersebut masih bergantung pada pasokan listrik dari Instansi Rumah sakit sekitar dan belum ada inisiatif nyata dari pemerintah daerah untuk memanfaatkan potensi sungai sebagai sumber energi listrik lokal. Namun, hal ini membuka peluang pengembangan ke depan. Selain untuk kebutuhan masyarakat setempat, pengembangan PLTMH juga memungkinkan kerja sama dengan PLN sebagai satu-satunya entitas distribusi listrik di Indonesia. Listrik yang dihasilkan bisa

dijual melalui skema feed-in tariff atau bentuk kemitraan. Secara keseluruhan, PLTMH di Telaga Desa Sumber Porong memiliki kelayakan teknis dan potensi besar untuk dikembangkan sebagai solusi energi berkelanjutan.

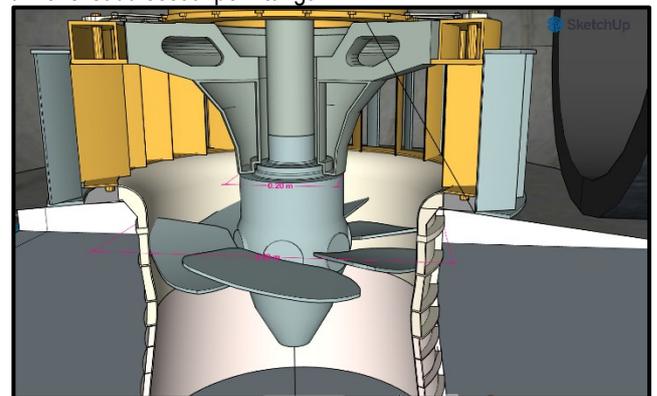
### 3.4 Desain PLTMH

Desain PLTMH ini mengacu pada perhitungan dan standar yang berlaku. Pada gambar 3.4 ditunjukkan desain aliran air yang mengalir dari sungai masuk ke *waterway* yang selanjutnya ke bak penenang di ujung *waterway* kemudian masuk ke pipa pesat.



GAMBAR 3. 4 DESAIN PLTMH 1

Semua desain dari *waterway* hingga pipa pesat pada Gambar 3.4 sesuai standard dan perhitungan. Dimensi *waterway* memiliki lebar 1,56 m, panjang 17,3 m, freeboard 0,3 m, kedalaman 0,7 m. Kedalaman kritis dari saluran sebesar 0,173 m. Gambar 3.5 merupakan desain dari turbin kaplan dengan dimensi *runner* dan dimensi sudu sesuai perhitungan.



GAMBAR 3. 5 DESAIN TURBIN KAPLAN

Desain dari turbin Kaplan pada Gambar 3.5 memiliki dimensi berupa diameter *runner* 0,59 m dan diameter sudu 0,20 m dan desain tersebut optimal sesuai dengan standard perhitungan. Gambar 3.6 merupakan desain PLTMH sesuai dengan perhitungan dan kondisi lapangan. Desain ini menunjukan jika PLTMH ini tipe Run off River yaitu mengubah aliran sungai A ke Sungai B untuk di dapatkan tinggi jatuh air maksimal.



GAMBAR 3. 6 DESAIN PLTMH 2

### 3.5 Analisis dengan Penelitian Sebelumnya

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa turbin Kaplan memiliki efisiensi mencapai 83% pada lokasi penelitian di Telaga Jiwa, dengan efisiensi sistem keseluruhan sebesar 72%, berdasarkan kombinasi efisiensi turbin (83%), generator (90%), dan transmisi (96%). Nilai ini mengindikasikan masih dalam batas wajar untuk sistem PLTMH skala kecil.

Jika dibandingkan dengan studi sebelumnya seperti penelitian oleh Wahyudi Ernest Putra. (2023) di Sungai Yeh Dikis yang mencatat efisiensi sistem sekitar 65%, maka efisiensi pada studi ini tergolong lebih tinggi [16]. Penelitian Jellyn Trissiana (2019) di Air Terjun Sumberwangi juga menyoroti pentingnya pemilihan lokasi dan jenis turbin, namun belum menyajikan perbandingan langsung antara jenis turbin [1]. Studi oleh Suwignyo et al. (2021) di Sumber Jeruk hanya melakukan identifikasi potensi, tanpa analisis perbandingan desain turbin secara teknis [2]. Keunggulan dari penelitian ini terletak pada pendekatan komparatif yang menggabungkan data teknis aktual (head, debit, efisiensi), serta perancangan turbin yang disesuaikan dengan kondisi lokasi. Selain memberikan gambaran potensi energi, penelitian ini juga menyajikan opsi desain teknis turbin Crossflow dan Kaplan, sehingga memberikan referensi praktis bagi pengembangan PLTMH di daerah lain.

Dengan demikian, studi ini tidak hanya mengisi kekosongan penelitian sejenis yang umumnya bersifat deskriptif atau eksploratif, tetapi juga menyajikan pendekatan teknis yang aplikatif dan dapat menjadi acuan bagi pengambilan keputusan dalam pembangunan PLTMH skala kecil-menengah di Indonesia.

### 4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis teknis yang telah dilakukan, pembangunan PLTMH di Telaga Jiwa dengan kapasitas 24,13 kW dinyatakan layak. Turbin Kaplan dipilih karena paling sesuai dengan karakteristik lokasi yang memiliki head 9,35 meter dan debit air 0,354 m<sup>3</sup>/s, serta mampu menghasilkan efisiensi turbin sebesar 83%. Jika digabungkan dengan efisiensi generator dan sistem transmisi, efisiensi total sistem mencapai 72%, yang tergolong tinggi untuk skala mikrohidro. Hasil ini sejalan dengan temuan penelitian sebelumnya oleh Wahyudi Ernest Putra dan Jellyn Trissiana, namun penelitian ini memiliki keunggulan dalam pendekatan komparatif dan desain sistem yang lebih terukur. Ke depan, penelitian ini dapat dikembangkan melalui kajian ekonomi, implementasi prototipe, serta integrasi dengan energi terbarukan lain untuk mendukung ketahanan energi desa secara

berkelanjutan.

### Referensi

- [1] J. Trissiana and W. Wilopo, "Studi Potensi Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pltmh) Di Kawasan Wisata Air Terjun Sumberwangi Desa Tirtomarto Kecamatan Ampelgading Kabupaten Malang," *Semin. Nas. Inov. Dalam Penelit. Sains, Teknol. Dan Humaniora-IInoBali*, pp. 93–98, 2019.
- [2] M. I. Suwignyo, "POTENSI PEMBANGUNAN PLTMH SUMBER JERUK DESA KARANGSUKA KEC. PAGELARAN KAB. MALANG," vol. 16, pp. 1–5, 2019.
- [3] S. Suwignyo, A. A. Darmawan, C. Saleh, and A. S. Amal, "Penentuan Lokasi dan Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro di Kabupaten Malang," *Pros. Semin. Nas. Pemberdaya. Masy.*, vol. 1, no. 1, p. 217, 2024, doi: 10.36722/psn.v1i1.3276.
- [4] Asiva Noor Rachmayani, *MIKROHIDRO*. 2015.
- [5] I. N. Widiana, I. A. D. Giriantari, and I. N. Setiawan, "Perancangan Penstock (Pipa Pesat) Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di Banjar Dinas Mekarsari, Desa Panji, Kecamatan Sukasada, Kabupaten Buleleng," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 19, no. 2, p. 235, 2020, doi: 10.24843/mite.2020.v19i02.p16.
- [6] H. Darcy and J. Weisbach, "Darcy – Weisbach equation," pp. 1–12, 2021.
- [7] I. Rahmawan, "Analisa Kinerja Turbin Pembangkit Listrik Tenaga Air [Tugas Akhir]," 2024.
- [8] IEC, "IEC 60193," 2019.
- [9] R. Adhikari, "Design Improvement of Crossflow Hydro Turbin," 2016, doi: 10.11575/PRISM/25581.
- [10] K. Wells and A. Sharifian, "Design of short Venturi flow meters for incompressible and isothermal flow applications," *Heliyon*, vol. 10, no. 7, p. e29311, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e29311.
- [11] IEEE Industry Applications Society. and Power Systems Engineering Committee., *IEEE Std 141-1993*, vol. 1993. 1994.
- [12] SNI, "Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2020," *DirJen Ketenagalistrikan*, pp. 1–133, 2020.
- [13] Intermountain Environmental Inc., "Open channel flow using the float," pp. 6–8, 2019, [Online]. Available: <http://www.inmtn.com>
- [14] IRENA & ETSAP, "Hydropower Technology Brief," no. February, pp. 1–18, 2015.
- [15] S. S. Murni and A. Suryanto, "Analisis Efisiensi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Menggunakan HOMER (Studi Kasus PLTMH Parakandowo Kabupaten Pekalongan)," *J. List. Instrumentasi dan Elektron. Terap.*, vol. 1, no. 2, pp. 34–38, 2021, doi: 10.22146/juliet.v1i2.61282.
- [16] W. Ernest Putra, I. W. Sukerayasa, and I. A. Dwi Giriantari, "Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pltmh) Di Sungai Yeh Dikis Banjar Lebah Kabupaten Tabanan," *J. SPEKTRUM*, vol. 10, no. 2, p. 14, 2023, doi: 10.24843/spektrum.2023.v10.i02.p3.