

Rancang Bangun *Prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Dengan Studi Kasus Saluran Irigasi Di Desa Medewi Kecamatan Pekutatan Kabupaten Jembrana

Irene Trivania¹, Tom Gerraldo Salomo Situmeang², Martin Luhut Aribertson Sihaloho³
Anak Agung Ngurah Amrita⁴, Lie Jasa⁵, I Wayan Sukerayasa⁶
Pratolo Rahardjo⁷, Dewa Ayu Sri Santiari⁸

[Submission: 23-03-2025, Accepted: 08-05-2025]

Abstract— Micro Hydro Power (MHP) is a small power plant that uses water to generate electricity. It can be found in irrigation canals, rivers, or waterfalls. The amount of water and head height are important factors in determining the power output. The irrigation canal in Medewi Village is being used as a research location for MHP. Researchers will use the data to perform calculations and design a prototype. They will also conduct an economic analysis of the MHP to determine its feasibility. The discharge at the research location is 0.23 m³/s, and the waterfall is 2.24 m high. Through the calculation results, the researchers determined that the turbine is a crossflow turbine. The turbine power is 3.9 kW, the generator power is 4.375 kVA, and the turbine power in the homer software is 4.195 kW. The cost of building the MHP in the irrigation canals in Medewi Village is IDR20.391.899,26. With a 6% discount rate, the BCR is 1,51, the NPV value is IDR30.827.069, the IRR is 12,3%, and the BEP result per unit The payback period is 1 year 5 months and 2 weeks. Selling 46.585,056 kWh results in an LCC of IDR44.598.314. Using MHP throughout its economic life results in a cost that is less than the price paid to PLN.

Intisari— Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak, seperti air pada saluran irigasi, aliran sungai atau air terjun dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (*head*) dan jumlah debit air. Saluran irigasi di Desa Medewi dimanfaatkan sebagai lokasi penelitian PLTMH. Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan dan desain berdasarkan data yang dikumpulkan, membangun *prototype* dan melakukan analisis ekonomi dari PLTMH yang bertujuan untuk mengetahui kelayakan PLTMH dari segi daya yang dihasilkan dan analisis ekonominya. Hasil pengukuran debit pada lokasi penelitian yaitu 0,23 m³/s dengan tinggi jatuh air (*head*) yaitu 2,24 m. melalui hasil perhitungan didapatkan jenis turbin yaitu *crossflow*. Pada hitungan didapatkan daya turbin yaitu 3,9 kW, daya generator 4,375 kVA, daya turbin pada

software homer yaitu 4,195 kW. Biaya investasi yang diperlukan untuk pembangunan PLTMH di saluran irigasi di Desa Medewi yaitu Rp20.391.899,26. Dengan *Discount rate* 6%, didapatkan hasil BCR yaitu 1,51, nilai NPV yaitu Rp30.827.069, hasil IRR yaitu 12,3%, hasil BEP per unit diperoleh dengan penjualan 46.585,056 kWh, hasil LCC yaitu Rp44.598.314, dan lama pengembalian modal investasi PLTMH yaitu 1 tahun 5 bulan 2 minggu. Hasil penggunaan PLTMH selama umur ekonomis lebih sedikit dibandingkan dengan harga yang perlu dibayarkan ke PLN.

Kata Kunci— PLTMH; *Crossflow*; Debit; Daya; Analisis Ekonomi.

I. PENDAHULUAN

Desa Medewi merupakan salah satu desa yang terletak di Kecamatan Pekutatan, Kabupaten Jembrana, Bali. Di desa Medewi terdapat aliran irigasi yang airnya mengalir cukup stabil. Salah satu banjar yang terdapat di Desa Medewi yakni Banjar Dlod Setra, aliran irigasinya dimanfaatkan oleh masyarakat menjadi sumber aliran air di sawah dan tempat budidaya ikan.

Pembangkit Listrik tenaga Mikro Hidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak seperti air pada saluran irigasi, aliran sungai atau air terjun dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (*head*) dan jumlah debit air [1]. Berdasarkan potensi ketersediaan air berupa kondisi *head* dan debit air yang ada pada saluran irigasi di Banjar Dlod Setra Desa Medewi didapatkan tinggi *head* yaitu 2,24 m, rata-rata kecepatan aliran sebesar 1,033 m/s, lebar aliran saluran irigasi sebesar 1,52 m, kedalaman rata-rata aliran saluran irigasi sebesar 0,19 m, berdasarkan data tersebut didapatkan luas penampang sebesar 0,335 m dan debit air sebesar 0,23 m³/s. Jika ditinjau dari hasil penelitian oleh Azahrul et al tahun 2020, dari debit air sebesar 0,2 m³/s dan *head* sebesar 1,85 m dapat menghasilkan daya sebesar ± 2500 Watt [2]. Sehingga berdasarkan penelitian tersebut dan data yang telah diperoleh penulis berupa *head* dan debit yang ada, saluran irigasi di Desa Medewi dapat dimanfaatkan sebagai PLTMH.

Untuk mewujudkan perancangan PLTMH sebagai sumber energi listrik di saluran irigasi Desa Medewi membutuhkan

^{1,2,3}Mahasiswa, Universitas Udayana, ¹Jl. Mekar Jaya II Blok AIII. Pemogan, Denpasar, 80221 (telp:¹082198713789),^{2,3}jl. Giri kencana no.37, Jimbaran, 80361 (telp:²085829076449,³082285847210); e-mail:¹irenetrivania@student.unud.ac.id,²tgerraldo@gmail.com,³aribetsonloho@gmail.com)

^{4,5,6,7,8}Dosen, Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jln. Jalan Kampus Bukit Jimbaran 80361 INDONESIA (telp: 0361-703315; fax: 0361-4321; e-mail: 4ngr_amrita@unud.ac.id,5liejasa@unud.ac.id,5sukerayasa@unud.ac.id,6pratolo@unud.ac.id,7santiari@unud.ac.id)



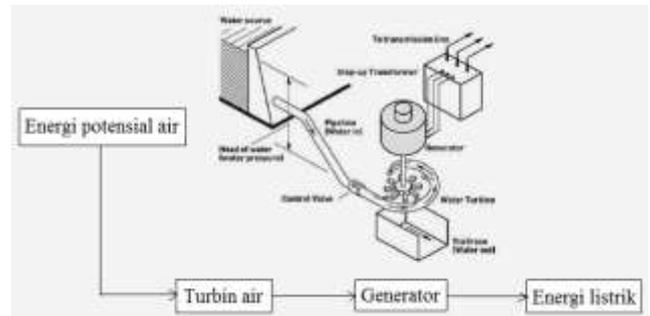
adanya analisis ekonomi. Analisis ekonomi diperlukan untuk mengetahui kelayakan dari perancangan yang akan dilakukan. Kelayakan ekonomi suatu alat ditentukan berdasarkan beberapa parameter diantaranya, *Benefit Cost Ratio* (BCR), *Net Present value* (NPV), *Internal Rate Return* (IRR), *Payback Period* (PP), *Life Cycle Cost* (LCC), dan *Break Event Point* (BEP).

II. STUDI PUSTAKA

Pada penelitian ini mengambil referensi dari beberapa penelitian dan jurnal yang berkaitan. Adapun penelitian sebelumnya mengenai PLTMH yaitu menggunakan jenis turbin *Archimedes Screw* [3], penelitian *prototype* PLTMH skala laboratorium dengan jenis turbin *Crossflow* [4], penelitian analisis efisiensi daya PLTMH menggunakan *software homer* [5], penelitian PLTMH menggunakan jenis turbin *Crossflow* dengan debit air sebesar $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ dan *head* sebesar $1,85 \text{ m}$ [2], penelitian mengenai kajian ekonomi PLTMH di Desa Panji [10], penelitian analisis ekonomi sistem PLTMH dan pompa air sungai Yeh Ha Kabupaten Karangasem [21]. Pada penelitian ini akan membahas PLTMH menggunakan jenis turbin *Crossflow*, penelitian ini juga akan menggunakan *software homer* untuk melakukan perbandingan dengan perhitungan manual, dengan debit yang digunakan yaitu $0,23 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan *head* $2,24 \text{ m}$, dan pada penelitian ini akan dilakukan analisis ekonomi PLTMH untuk mengetahui kelayakan dari penelitian ini.

A. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

Air adalah salah satu dari sumber energi terbarukan. Pada air juga tersimpan energi potensial (air yang jatuh) dan energi kinetik (air yang mengalir). Energi yang dimiliki air dapat digunakan dan dikonversikan menjadi listrik. Untuk menghasilkan energi listrik, digunakan energi air yang berasal dari aliran air dengan perbedaan ketinggian, dimana debit aliran air tersebut dapat dihitung untuk menentukan besarnya energi listrik yang dihasilkan. Produksi energi maksimum tergantung pada volume air dan ketinggian alirannya. Semakin bertambahnya ketinggian, maka energi potensial juga meningkat sehingga menghasilkan peningkatan kinerja daya. Salah satu sumber energi terbarukan yaitu tenaga air mikrohidro. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak, seperti air pada saluran irigasi, aliran sungai atau air terjun dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (*head*) dan jumlah debit air. Mikrohidro adalah istilah yang terdiri dari kata mikro yang berarti kecil dan hidro yang berarti air. Secara teknis, mikrohidro memiliki tiga komponen utama: air (sebagai sumber energi), turbin, dan generator [1]. Prinsip dasar mikrohidro adalah memanfaatkan energi potensial yang dimiliki oleh aliran air pada jarak ketinggian tertentu dari tempat instalasi pembangkit listrik. Sebuah skema mikrohidro membutuhkan dua hal yaitu debit air dan ketinggian jatuh air (*head*) untuk menghasilkan tenaga yang dapat dimanfaatkan [6].



Gambar 1: Prinsip Kerja PLTMH [13]

Secara teoritis daya yang dibangkitkan oleh PLTMH dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut [7]:

$$P = \rho \times g \times Q \times h \quad (1)$$

P = Daya terbangkit (W)

ρ = Massa jenis air (kg/m^3)

g = Percepatan gravitasi ($9,8 \text{ m}/\text{s}^2$)

Q = Debit air (m^3/s)

h = Tinggi jatuh air (m)

Terdapat beberapa komponen penting dari suatu sistem PLTMH, antara lain turbin yang digunakan untuk mengubah aliran air menjadi energi mekanik, dan generator mengubah energi mekanik dari turbin menjadi energi listrik. Perhitungan daya generator dapat menggunakan rumus [18]:

$$P_G = \eta_G \times P_t \quad (2)$$

Keterangan:

P_G = Daya yang dihasilkan generator (kW)

η_G = Efisiensi generator (80 sampai 95%)

P_t = Daya turbin (kW)

Selanjutnya dapat ditentukan daya semu berdasarkan kapasitas daya yang terpasang, menggunakan rumus [8]:

$$P_{Semu} = \frac{P_G}{\cos \theta} \quad (3)$$

Keterangan:

P_{Semu} = Daya semu (VA)

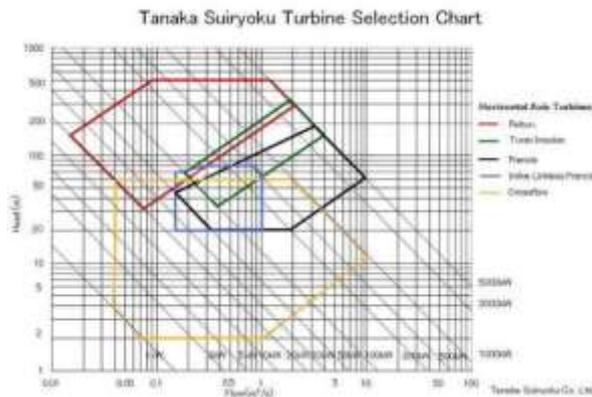
$\cos \theta$ = Faktor daya (0,8)

1. Pemilihan Turbin Air

Jenis turbin yang digunakan bergantung pada besarnya debit air (Q) dan tinggi jatuh air yang tersedia. Secara teori, pemilihan jenis turbin dapat ditentukan berdasarkan karakteristik turbin dan berdasarkan debit dan *head*.

a. Pemilihan Turbin Berdasarkan Karakteristik Turbin

Perbandingan karakteristik turbin dapat dilihat pada gambar 2 yaitu grafik *head* (m) dengan debit (m^3/s) berikut.



Gambar 2: Pemilihan Jenis Turbin Berdasarkan Karakteristik Turbin [15]

b. Pemilihan Turbin Berdasarkan Debit dan Head

PLTMH sangat bergantung pada ketersediaan air dan kondisi sekitar pembangkit, sehingga perkiraan debit air dan head maksimum sangat penting dalam suatu perencanaan. Untuk menghitung jumlah debit air dan luas penampang aliran dapat menggunakan rumus berikut [8], [9]:

$$Q = A \times V \quad (4)$$

$$A = \frac{B+b}{2} \times h \quad (5)$$

Keterangan:

- Q = Debit air (m³/s)
- A = Luas penampang aliran (m²)
- V = Kecepatan aliran (m/s)
- B = Lebar permukaan saluran irigasi (m)
- b = Lebar dasar aliran saluran irigasi (m)
- h = Kedalaman rata-rata aliran saluran irigasi (m)

2. Metode Pengukuran

Metode pengukuran pada PLTMH meliputi pengukuran debit air dan head. Berikut merupakan cara pengukuran debit air dan tinggi jatuh air PLTMH.

a. Pengukuran Debit

Pengukuran debit dilakukan untuk mengetahui seberapa banyak air yang mengalir pada saluran irigasi tersebut dalam satuan m³/s. pengukuran kecepatan aliran dapat menggunakan alat ukur *current* meter. Pengukuran dilakukan pada tiga titik, dengan cara mengambil titik pengukuran dari lebar luas penampang saluran irigasi yaitu pada sisi sebelah kiri, tengah, dan kanan.

b. Pengukuran Tinggi Jatuh Air (*head*)

Dalam pembuatan PLTMH, *head* merupakan nilai yang dipengaruhi agar mengetahui besar daya listrik yang dapat dibangkitkan oleh pembangkit. Nilai *head* ini juga akan digunakan dalam menentukan jenis turbin air yang akan digunakan nantinya. Pengukuran tinggi jatuh air dilakukan

menggunakan kamera *Smartphone* pada aplikasi berupa *measure*.

3. Persamaan Dalam Menentukan Parameter Desain Turbin *Crossflow*

Dalam menentukan parameter desain *Crossflow* terdapat beberapa rumus yang diperlukan yaitu [8]:

a. Karakteristik Turbin Air

1) Daya Keluaran Turbin

$$P_t = \rho \times Q \times h_{Net} \times g \times \eta \quad (6)$$

Keterangan:

- ρ = Massa jenis air (1000 kg/m³)
- P_t = Daya turbin (Watt)
- H_{Net} = Head net (m)
- Q = Debit air (m³/s)
- η = Efisiensi turbin (0,3 -0,9)
- g = Percepatan gravitasi (m/s²)

2) Kecepatan Turbin

Kecepatan Putaran Turbin

$$N = n \frac{H_{net}^{0,745}}{\sqrt{P_t}} \quad (7)$$

Kecepatan Spesifik Turbin

$$N_s = N \times \frac{P_t^{0,5}}{H_{net}^{1,25}} \quad (8)$$

Keterangan:

- N = Kecepatan putaran turbin air (rpm)
- P_t = Daya turbin (Watt)
- H_{net} = Head net (m)
- n = Putaran turbin (rencana) (rpm)
- N_s = Kecepatan spesifik turbin (rpm)

b. Perhitungan dan Analisa Rancangan Turbin [2]:

1) Kecepatan Pancaran Air

$$C_1 = k (2 \cdot g \cdot h)^{\frac{1}{2}} (m / s); \text{ dengan } k = 0,9 \quad (9)$$

Keterangan:

- C_1 = Kecepatan absolut turbin (m/s)
- k = Koefisien daya
- g = Percepatan gravitasi (9,8 m/s²)
- h = Tinggi jatuh air (m)

2) Kecepatan Keliling Roda Turbin

$$U_1 = \frac{1}{2} \times C_1 \times \cos \alpha_1 (m/s) \quad (10)$$



Keterangan:

U_1 = Kecepatan keliling roda turbin

C_1 = Kecepatan pancaran air

α_1 = Sudut absolut masuk air

3) Sudut Relatif Tingkat I

$$2 \tan \alpha_1 \quad (11)$$

Keterangan:

α_1 = Sudut absolut masuk air

4) Efisiensi Turbin Maksimum

$$\eta_t = \cos^2 \alpha_1 (\%) \quad (12)$$

Keterangan:

η_t = Efisiensi turbin maksimum

α_1 = Sudut absolut masuk air

c. *Runner*

1) Diameter Luar *Runner*

$$D_0 = 40 \sqrt{\frac{H_{net}}{N}} \quad (13)$$

Keterangan:

N = Kecepatan putaran turbin air (rpm)

D_0 = Diameter luar *runner* (m)

H_{net} = *Head* net (m)

2) Diameter Dalam *Runner*

$$D_1 = \frac{2}{3} \times D_0 \quad (14)$$

Keterangan:

D_1 = Diameter dalam *runner* (m)

D_0 = Diameter luar *runner* (m)

3) Jarak Antar Sudu

Untuk menghitung jarak dan ketebalan antar sudu dapat digunakan rumus berikut:

$$S_1 = k \times D_0 \quad (15)$$

$$t = \frac{s_1}{\sin \beta_1} \quad (16)$$

Keterangan:

S_1 = Ketebalan sudu (cm)

k = Konstanta (0,0087)

β_1 = Sudut kecepatan air masuk

D_0 = Diameter luar *runner* (cm)

4) Lebar Sudu

$$a = 0,17 \times D_0 \quad (17)$$

Keterangan:

a = Lebar sudu (cm)

D_0 = Diameter luar *runner* (cm)

5) Jumlah Sudu

$$n = \frac{\pi \times D_0}{t} \quad (18)$$

Keterangan:

n = Jumlah sudu pada turbin air

t = Jarak antar sudu pada turbin air (cm)

6) Panjang Sudu

$$L = \frac{Q \times N}{50 \times H_n} \quad (19)$$

Keterangan:

N = Kecepatan putaran turbin (rpm)

Q = Debit air (m³/s)

H_n = *Head* net (m)

L = Panjang sudu (m)

7) Jari-jari Kelengkungan Sudu

$$r_c = 0,163 \times D_0 \quad (20)$$

Keterangan:

r_c = Jari-jari kelengkungan sudu

D_0 = Diameter luar *runner* (cm)

8) Torsi

$$T = \frac{P_t}{2\pi \times \frac{N}{60}} \quad (21)$$

Keterangan:

N = Kecepatan putaran turbin (rpm)

P_t = Daya turbin (Watt)

T = Torsi (Nm)

d. *Pipa Pesat*

1) Diameter *Pipa Pesat*

$$d = 0,72 \times Q^{0,5} \quad (22)$$

Keterangan:

d = Diameter pipa pesat (m)

Q = Debit (m³/s)

2) Kecepatan Aliran Air *Pipa Pesat*

$$v = \frac{4 \times Q}{\pi \times d^2} \quad (23)$$

Keterangan:

v = Kecepatan aliran air pipa (m/s)

Q = Debit (m³/s)

d = Diameter pipa pesat (m)

- 3) Rugi-Rugi Pipa Pesat
 a) Rugi Gesek Pada Dinding Pipa

$$h_{wall\ loss} = \frac{f \times L_{pipa} \times 0,08 \times Q^2}{d^5} \quad (24)$$

Keterangan:

$h_{wall\ loss}$ = Rugi gesekan pada dinding pipa pesat (m)

f = Konstanta friksi (Diagram Moody)

L_{pipa} = Panjang pipa pesat (m)

Q = Debit air (m³/s)

d = Diameter *penstock* (m)

- b) Rugi Turbulensi

$$h_{Turb\ loss} = \frac{v^2}{2 \times g} (K_{friksi}) \quad (25)$$

Keterangan:

$h_{Turb\ loss}$ = Rugi turbulensi pada pipa pesat (m)

v = Kecepatan aliran pipa pesat (m/s)

g = Percepatan gravitasi (m²/s)

K_{friksi} = Konstanta friksi

- c) Rugi Friksi

$$h_{friction} = h_{Wall\ loss} + h_{Turb\ loss} \quad (26)$$

Keterangan:

$h_{friction}$ = Rugi friksi (m)

$h_{Wall\ loss}$ = Rugi gesekan pada pipa pesat (m)

$h_{Turb\ loss}$ = Rugi turbulensi pada pipa pesat (m)

- d) *Head* Efektif

$$Head_{Net} = h_{Gross} - h_{friction} \quad (27)$$

Keterangan:

H_{Gross} = Tinggi jatuh air kotor (m)

$H_{friction}$ = Rugi gesekan pada *penstock* (m)

- e) Persentase Kehilangan *Head*

$$\%Losses = \frac{h_{friction}}{h_{gross}} \times 100\% \quad (28)$$

- f) *Surge Pressure*

$$a = \frac{1400}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,1 \times 10^9 \times d}{E \times t} \right)}} \quad (29)$$

Keterangan:

d = Diameter *penstock* (m)

t = Ketebalan dinding *penstock* (m)

E = Modulus young elastisitas (N/m²)

$$h_{Surge} = \frac{a \times v}{g} \quad (30)$$

Keterangan:

a = Kecepatan rambat gelombang (m)

v = Kecepatan aliran dalam *penstock* (m/s)

- g) Rugi Total Pipa

$$h_{Total} = h_{Gross} + h_{Surge} \quad (31)$$

- h) *Safety Factor*

$$SF = \frac{t \times s}{5 \times h_{Total} \times 10^3 \times d} \quad (32)$$

Keterangan:

SF = *Safety factor*

t = Ketebalan dinding *penstock* (m)

s = Kekuatan bahan (N/m²)

d = Diameter *penstock* (m)

- e. *Pulley dan Belt*

- 1) *Pulley*

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} \quad (33)$$

Keterangan:

n_1 = Putaran turbin (rpm)

n_2 = Putaran generator (rpm)

d_1 = Diameter *pulley* penggerak (cm)

d_2 = Diameter *pulley* yang digerakan (cm)

- 2) *Belt*

$$L = 2C + \frac{\pi}{2} (d_p + D_p) + \frac{1}{4C} (d_p + D_p) \quad (34)$$

Keterangan:

L = Panjang keliling sabuk (cm)

C = Jarak antar poros

d_p = Diameter *pulley* yang digerakan (cm)

D_p = Diameter *pulley* penggerak (cm)

- B. Parameter Ekonomi Teknik

Parameter ekonomi teknik penting dilakukan untuk menganalisa kelayakan ekonomi. Dengan adanya parameter ekonomi teknik, dapat dilakukan analisa perhitungan untuk keuntungan yang akan diperoleh dari suatu proyek sehingga dapat mengambil keputusan yang baik untuk merancang suatu proyek [9].



Pada perhitungan analisis ekonomi teknik terdapat 7 parameter yang diperlukan untuk menentukan kelayakan suatu proyek PLTMH, yaitu sebagai berikut.

1. Benefit Cost Ratio

Benefit Cost Ratio (BCR) merupakan perhitungan dari nilai perbandingan antara aspek manfaat (*benefit*) yang akan diperoleh dengan aspek biaya kerugian yang akan ditanggung (*cost*) dengan adanya investasi tersebut [9]. Suatu proyek dapat dikatakan layak pada faktor penentu BCR yaitu $BCR > 1$ [10].

$$BCR = \frac{NPV}{Investment\ Cost} \quad (35)$$

Keterangan:

BCR = *Benefit Cost Ratio*

NPV = *Net present Value*

Investment Cost = Besarnya Biaya Investasi

2. Net Present value

Net Present Value (NPV) merupakan metode untuk menghitung nilai sekarang dari arus kas masa depan. Sehingga nilai NPV harus bernilai positif atau lebih dari 0 untuk dapat dikatakan proyek tersebut layak [10].

$$NPV = \sum_{t=0}^N \frac{Cf_n}{(1+r)^n} \quad (36)$$

Keterangan:

NPV = *Net Present Value*

Cf = Arus Kas

r = Tingkat Diskonto

N = Jangka Waktu Proyek

3. Internal Rate Return

Internal Rate Return (IRR) digunakan untuk mengukur keuntungan atau laba yang dapat dihasilkan dengan adanya operasi PLTMH. Syarat IRR dikatakan layak yaitu nilainya melebihi 11,4 % berdasarkan *Expected Future Annual Return* Indonesia. Nilai IRR direpresentasikan dalam persentase (%) [10].

$$IRR = i1 + \frac{NPV(+)}{NPV(+)-NPV(-)} \times (i2 - i1) \quad (37)$$

Keterangan:

IRR = *Internal Rate Return*

NPV = *Net Present Value*

i1 = Tingkat Suku Bunga yang Memberikan Nilai NPV Positif

i2 = Tingkat Suku Bunga yang Memberikan Nilai NPV Negatif

4. Cash Flow

Cash Flow merupakan aliran uang masuk dan uang keluar per periode waktu pada suatu perusahaan. *Cash Flow* terdiri dari *cash-in* (uang masuk) yang berasal dari penjualan produk atau manfaat terukur (*benefit*) dan *cash-out* (uang keluar)

yang merupakan kumulatif dari biaya-biaya (*cost*) yang dikeluarkan.

5. Payback Period (PP)

Analisis *Payback Period* bertujuan untuk mengetahui seberapa lama (periode) investasi akan dapat dikembalikan saat terjadinya kondisi pulang modal (*break even point*) [10].

$$PP = n \frac{a-b}{c-b} \times 1 \text{ tahun} \quad (38)$$

Keterangan:

PP = *Payback Period*

n = Tahun Terakhir jumlah arus kas belum mampu menutupi modal investasi

a = *Initial Cost*

b = Jumlah arus kas hingga tahun ke-n

c = Jumlah arus kas hingga tahun ke -n+1

6. Life Cycle Cost

Life Cycle Cost (LCC) pada analisis ekonomi PLTMH yaitu untuk menghitung biaya yang harus dikeluarkan sepanjang umur ekonomis PLTMH. Perhitungan LCC meliputi Biaya investasi, biaya O&M, biaya Penyusutan, dan biaya penggunaan air [8].

$$\text{Biaya O\&M} = \text{Biaya Investasi Awal} \times 2\% \quad (39)$$

$$\text{Biaya O\&M} = \text{Biaya O\&M awal} \times (1 + \text{inflasi rate}) \quad (40)$$

$$\text{Biaya O\&M} = \text{Biaya O\&M awal} \times (1 + \text{Diskonto rate})^{-(\text{tahun ke-n})} \quad (41)$$

$$\text{Biaya Penyusutan} = \frac{\text{Biaya Investasi} - \text{Nilai Residu}}{\text{Umur Ekonomis PLTMH}} \quad (42)$$

$$\text{Biaya air/Tahun} = \text{Rp.50} \times \text{Energi dihasilkan PLTMH/tahun} \quad (43)$$

$$LCC = C + Ce + Com + Cd \quad (44)$$

Keterangan:

LCC = *Life Cycle Cost*

C = Biaya Tahu Awal Perencanaan (*Initial Cost*)

Ce = Biaya Bahan Bakar

Cd = Biaya Penyusutan

Com = Biaya Operasional & *Maintenance*

7. Break Even Point

Break Even Point merupakan keadaan di mana modal yang kita keluarkan sama dengan pendapatan, sehingga BEP merupakan titik balik modal suatu proyek [8].

$$BEP \text{ Unit} = \frac{\text{Biaya Tetap}}{\text{Harga per unit} - \text{Biaya variable per unit}} \quad (45)$$

C. Golongan Tarif PLN

Golongan tarif PLN ini dibutuhkan untuk mengetahui nilai harga beli listrik PLN/kWh dari golongan tarif, dan

harga beli listrik ini digunakan untuk menghitung biaya pengeluaran menggunakan PLN selama umur ekonomis. Perhitungan harga tarif *adjustment* PLN dikelompokkan ke dalam beberapa golongan tarif seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.



**PENETAPAN
PENYEBUAIAN TARIF TENAGA LISTRIK (TARIF ADJUSTMENT)
OKTOBER - DESEMBER 2024**

NO.	GOL. TARIF	BATAKARAK	HUKULAN		PERA BAYAR (Rp/Wh)
			BATAK BERSAMA (Rp/kWh)	BATAK PERKAWAN (PUNYI) DAN BATAK USAHA (Rp/Wh)	
1	R-070	0-100 VA	*)	1.200,00	1.200,00
2	R-070	101-200 VA	*)	1.440,00	1.440,00
3	R-070	201-300 VA	*)	1.680,00	1.680,00
4	R-070	301-400 VA	*)	1.920,00	1.920,00
5	R-070, TM	0-100 VA	*)	1.800,00	1.800,00
6	R-070	101-200 VA	*)	1.440,00	1.440,00
7	R-070, TT	0-100 VA	**)	Rasio LCCP = 4 x 1.200,00 Rasio LCCP = 1.200,00	-
8	R-070	101-200 VA	**)	Rasio LCCP = 4 x 1.440,00 Rasio LCCP = 1.440,00	-
9	R-070	201-300 VA	**)	Rasio LCCP = 4 x 1.680,00 Rasio LCCP = 1.680,00	-
10	R-070	301-400 VA	**)	Rasio LCCP = 4 x 1.920,00 Rasio LCCP = 1.920,00	-
11	R-070	0-100 VA	**)	Rasio LCCP = 4 x 1.200,00 Rasio LCCP = 1.200,00	-
12	R-070	101-200 VA	**)	Rasio LCCP = 4 x 1.440,00 Rasio LCCP = 1.440,00	-
13	R-070	201-300 VA	**)	Rasio LCCP = 4 x 1.680,00 Rasio LCCP = 1.680,00	-
14	R-070	301-400 VA	**)	Rasio LCCP = 4 x 1.920,00 Rasio LCCP = 1.920,00	-

**) Tarif per kWh dengan biaya investasi
 **) Tarif per kWh dengan biaya investasi dan biaya pemeliharaan*

Gambar 3: Harga Tarif *Adjustment* PLN [16]

III. METODOLOGI

Tahapan yang harus dilakukan dalam penelitian ini yaitu mengambil data, mendesain PLTMH, hingga analisis ekonomi teknik yang dapat dilihat pada gambar 4 berikut.

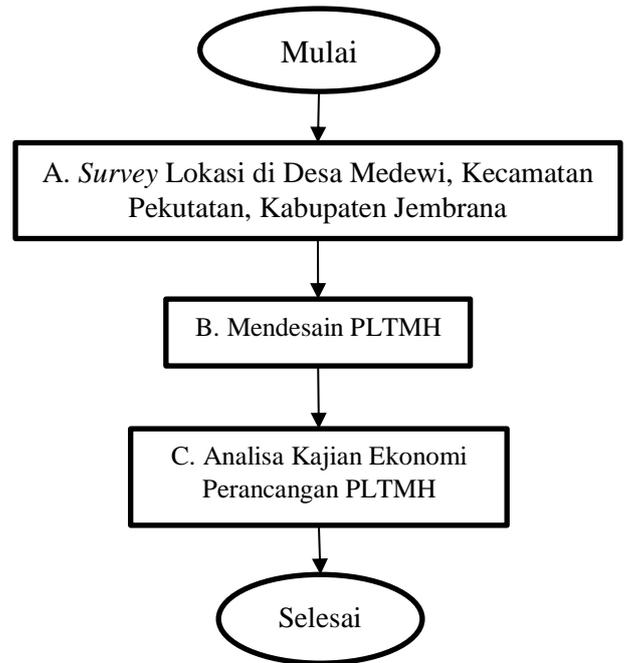
A. Survey Lokasi di Desa Medewi

Survey Lokasi bertujuan melakukan pengambilan data untuk kebutuhan penelitian di Desa Medewi pada saluran irigasi. Data yang di ambil yaitu berupa *head* (tinggi jatuh air), rata-rata kecepatan aliran, lebar aliran saluran irigasi, dan kedalaman rata-rata aliran saluran irigasi. Data yang di ambil ini nantinya akan digunakan untuk melakukan perhitungan dalam desain PLTMH.

B. Mendesain PLTMH

Berdasarkan data *survey* yang telah dilakukan, dapat dilakukan perhitungan perancangan PLTMH dan melakukan desain PLTMH berdasarkan perhitungan yang sudah dilakukan menggunakan *software inverter*. Perancangan yang dilakukan terdiri dari perancangan turbin *Crossflow*, perancangan dudukan turbin dan generator PLTMH, dan perancangan pipa pesat.

Irene Trivania: Rancang Bangun *prototype* Pembangkit Listrik ...



Gambar 4: Alur Penelitian PLTMH

C. Analisa kajian Ekonomi Perancangan PLTMH

Pada tahap ini, analisis ekonomi perancangan PLTMH dilakukan untuk mengetahui kelayakan investasi dan mengetahui apakah perancangan ini layak untuk direalisasikan. Perhitungan pada analisis ekonomi ini menggunakan metode *Benefit Cost Ratio* (BCR), *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate Return* (IRR), *Payback Period* (PP), *Life Cycle Cost* (LCC), dan *Break Even Point* (BEP). Dan dilakukan perbandingan pengeluaran biaya PLTMH dan biaya PLN untuk mengetahui kelayakan PLTMH dibandingkan menggunakan PLN.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil *Survey* Lapangan

Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk mengetahui nilai dari parameter PLTMH dan menentukan jenis turbin dan generator yang akan digunakan. Hasil *survey* lapangan dari pengukuran ini akan digunakan sebagai sumber spesifikasi dalam perancangan PLTMH.

1. Pengukuran Debit

Pengukuran Debit air dilakukan pada saluran irigasi di Desa Medewi Kecamatan Pekutatan Kabupaten Jembrana. Pengukuran debit air dilakukan menggunakan alat ukur bernama *flowwatch*. Berikut merupakan spesifikasi dari alat ukur *flowwatch* yang ditunjukkan pada tabel I.



TABEL I
SPESIFIKASI ALAT UKUR *FLOWATCH*

Kecepatan Maksimum	150 km/jam
Sensitivitas Minimum	> 3 km/jam - > 1m/s
Diameter	60 mm
Ketelitian	2FS
Suhu Operasi	-50° – 100° C

Pengukuran debit dilakukan pada saluran irigasi dengan menggunakan *current meter*. Dalam melakukan pengukuran terdapat tiga titik pengukuran yang diukur dari atas permukaan air. Perhitungan dilakukan pada tiga titik dari lebar penampang saluran irigasi yaitu sisi sebelah kiri, tengah, dan kanan.

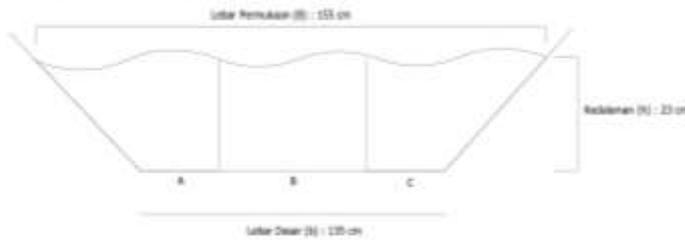
Berdasarkan hasil *survey* pada lokasi penelitian, lebar penampang saluran irigasi yaitu berbentuk trapesium, dan didapatkan nilai lebar penampang dasar 135 cm, lebar penampang atas 155 cm dan tinggi saluran irigasi 23 cm, sehingga luas penampang pada saluran irigasi dapat dihitung menggunakan persamaan (5):

$$A = \frac{B+b}{2} \times h$$

$$A = \frac{1,55+1,35}{2} \times 0,23$$

$$A = 0,335 \text{ m}^2$$

Gambar 5 menunjukkan ilustrasi dari pengukuran kecepatan aliran pada saluran irigasi.



Gambar 5: Ilustrasi Saluran Irigasi Desa Medewi

Pengukuran dilakukan dengan cara mencelupkan *flowatch* pada saluran irigasi sesuai dengan titik-titik yang telah ditentukan. Hasil pengukuran rata-rata kecepatan aliran air dapat menggunakan persamaan $V = \frac{A+B+C}{3}$ seperti pada tabel II.

TABEL II
HASIL PENGUKURAN KECEPATAN ALIRAN AIR

Tanggal Pengukuran	Titik Pengukuran			Rata-Rata Kecepatan Aliran
	A	B	C	
10/10/2023	0,9 m/s	1,2 m/s	1 m/s	1,033 m/s
24/03/2024	0,4 m/s	0,9 m/s	0,6 m/s	0,633 m/s
03/05/2024	0,4 m/s	0,9 m/s	0,4 m/s	0,587 m/s

Setelah didapatkan rata-rata kecepatan aliran dan luas penampang. Selanjutnya dapat dilakukan pengukuran debit air menggunakan rumus pada persamaan (4), yaitu $Q = A \times V$. Hasil pengukuran debit akan ditunjukkan pada tabel III.

TABEL III
HASIL DEBIT AIR SALURAN IRIGASI

Tanggal Pengukuran	Kecepatan Rata-rata Aliran Air	Luas Penampang	Debit Air
10/10/2023	1,033 m/s	0,335 m ²	0,3 m ³ /s
24/03/2024	0,633 m/s	0,335 m ²	0,211 m ³ /s
03/05/2024	0,587 m/s	0,335 m ²	0,2 m ³ /s
Rata-rata Debit Air			0,23 m³/s

Berdasarkan perhitungan debit air dari tiga waktu pengukuran yang berbeda, didapatkan hasil debit air yang tidak jauh berbeda yaitu 0,2 – 0,3 m³/s dan jika dirata-ratakan didapatkan hasil debit air total yaitu 0,23 m³/s.

2. Pengukuran Tinggi Jatuh Air (*Head*)

Untuk mengetahui besar daya listrik yang dapat dibangkitkan oleh pembangkit dan untuk menentukan jenis turbin yang akan digunakan, perlu melakukan pengukuran tinggi jatuh air (*head*). Pada penelitian ini, *head* diukur menggunakan kamera yang terdapat pada *smartphone* yaitu pada aplikasi *measure*. Berdasarkan pengukuran tersebut, didapatkan hasil *head* yaitu 2,24 m.



Gambar 6: tinggi Jatuh Air Saluran Irigasi (koordinat: 8,39645° S, 114,81901° E)

3. Perhitungan Daya Hidrolik

Perhitungan daya hidrolik ini memerlukan beberapa parameter seperti jumlah debit air (Q), tinggi jatuh air (*head*) (h), massa jenis air (ρ), dan gaya gravitasi bumi (g). Dengan menggabungkan data-data yang telah diperoleh, dapat dilakukan pengukuran daya hidrolik menggunakan persamaan (1) sebagai berikut.

$$P = \rho \times g \times Q \times h$$

$$P = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 0,23 \text{ m}^3/\text{s} \times 2,24 \text{ m}$$

$$P = 5048,96 \text{ Watt} = 5,05 \text{ kW}$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan daya hidrolik yang dihasilkan yaitu 5,05 kW.

B. Perancangan PLTMH

Perancangan PLTMH ini dilakukan berdasarkan kondisi eksisting yang terdapat pada saluran irigasi di Desa Medewi.

1. Pemilihan Jenis Turbin

Pemilihan jenis turbin dapat ditentukan berdasarkan perhitungan dengan mempertimbangkan parameter yang ada, seperti *head* jatuh air, debit air, serta kondisi lingkungan air. Pada aliran irigasi desa Medewi, jenis turbin yang dipilih yaitu turbin *Crossflow*. Jenis turbin ini dipilih menyesuaikan dengan kondisi eksisting yang ada. Jenis turbin ini dapat beroperasi dengan debit air antara 0,02 m³/s hingga 10 m³/s dan mampu berfungsi pada *head* antara 1 m sampai 200 m.

2. Perhitungan Pipa Pesat

Berikut hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perhitungan pipa pesat. Dengan menggunakan data ukur dan perhitungan *survey* awal, maka diameter dapat dicari menggunakan persamaan (22) yaitu:

$$d = 0,72 \times Q^{0,5}$$

$$d = 0,72 \times (0,23)^{0,5}$$

$$d = 0,72 \times 0,48 = 0,34 \text{ m} = 34 \text{ cm} = 340 \text{ mm}$$

Setelah mengetahui diameternya, kita dapat mencari kecepatan aliran air pipa pesat menggunakan persamaan (23) yaitu:

$$v = \frac{4 \times Q}{\pi \times d^2}$$

$$v = \frac{4 \times 0,23}{3,14 \times (0,34)^2}$$

$$v = \frac{0,92}{0,362984} = 2,53 \text{ m/s}$$

Kemudian jenis pipa *penstock* yang direncanakan yaitu menggunakan pipa PVC, dan digunakan tebal pipa pesat yaitu 4,10 mm atau 0,41 cm.

Selanjutnya dilakukan perhitungan kerugian dari *penstock* menggunakan persamaan (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32) yaitu.

- Rugi-Rugi Gesekan Pada Dinding Pipa

$$h_{wall \text{ loss}} = \frac{f \times L_{pipe} \times 0,08 \times Q^2}{d^5}$$

$$h_{wall \text{ loss}} = \frac{0,013 \times 1 \times 0,08 \times 0,23^2}{0,34^5} = 0,012 \text{ m}$$

- Rugi Turbulensi Pada Pipa

$$h_{turb \text{ loss}} = \frac{v^2}{2 \times g} (k_{frikasi})$$

$$h_{turb \text{ loss}} = \frac{2,53^2}{2 \times 9,8} (0,457)$$

$$h_{turb \text{ loss}} = \frac{6,4009}{19,6} (0,457)$$

$$h_{turb \text{ loss}} = 0,33 (0,457) = 0,15 \text{ m}$$

- Rugi Friksi

$$h_{frikasi} = h_{wall \text{ loss}} + h_{turb \text{ loss}}$$

$$h_{frikasi} = 0,012 + 0,15 = 0,161 \text{ m}$$

- Head Efektif

$$Head_{net} = h_{gross} - h_{friction}$$

$$Head_{net} = 2,24 - 0,161 = 2,079 \text{ m}$$

Persentase Kehilangan Head:

$$\%Losses = \frac{h_{friction}}{h_{gross}} \times 100\%$$

$$\%Losses = \frac{0,161}{2,24} \times 100\% = 7,2\%$$

- Surge Pressure

$$a = \frac{1400}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,1 \times 10^9 \times d}{E \times t}\right)^2}} = \frac{1400}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,1 \times 10^9 \times 0,34}{200 \times 0,041}\right)^2}}$$

$$a = \frac{1400}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,714 \times 10^9}{8,2}\right)^2}} = \frac{1400}{\sqrt{1 + (87073170,73)^2}}$$

$$a = \frac{1400}{\sqrt{87073171,73}} = \frac{1400}{9331,30} = 0,15 \text{ m}$$

- Rugi-Rugi Pipa Pesat

$$h_{surge} = \frac{a \times v}{g} = \frac{0,15 \times 2,53}{9,8} = 0,039 \text{ m}$$

- Rugi-Rugi Total Pipa Pesat

$$h_{surge} = h_{gross} + h_{surge}$$

$$h_{surge} = 2,24 + 0,039 = 2,279 \text{ m}$$

- Safety Factory

$$SF = \frac{t \times s}{5 \times h_{total} \times 10^3 \times d}$$

$$SF = \frac{0,041 \times 45.000.000}{5 \times 2,28 \times 10^3 \times 0,34}$$

$$SF = \frac{1845000}{3876} = 5$$

Berdasarkan perhitungan pipa pesat, dengan menyesuaikan dengan keadaan eksisting di lokasi penelitian dan panjang *runner* turbin pada *prototype* maka terdapat perubahan bentuk pipa pesat, yang awalnya berbentuk lingkaran menjadi persegi panjang. Dengan mempertimbangkan panjang *runner* dan kondisi di lapangan, sehingga untuk menghitung panjang dan lebar pipa pesat, dapat dihitung menggunakan rumus $P \times l$. Dengan panjang yaitu 43 cm dan lebar 18 cm. berdasarkan ukuran *penstock* berbentuk persegi panjang, dapat dihitung rugi gesekan pada pipa menggunakan rumus *Darcy-Weisbach* [11] yaitu:

p-ISSN:1693 – 2951; e-ISSN: 2503-2372



$$h_f = f \times \frac{L}{D_h} \times \frac{v^2}{2g}$$

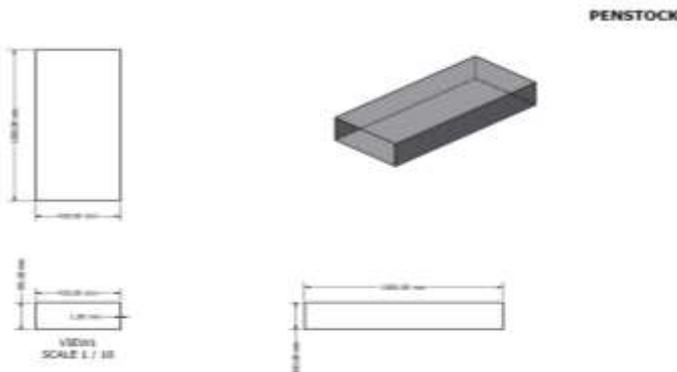
Dimana diameter yang dipake adalah diameter hidrolik. Diameter hidrolik adalah ukuran yang digunakan untuk menghitung aliran dalam saluran *non*-lingkaran atau tabung, dengan persamaan rumus [11]:

$$D_h = \frac{4A}{P}$$

Berdasarkan rumus tersebut, sehingga didapatkan rugi gesekan pada *penstock* persegi panjang adalah 0,003 m. Uraian perancangan *penstock* ditunjukkan pada tabel berikut.

TABEL IV
URAIAN PERANCANGAN *PENSTOCK*

Uraian Perancangan <i>Penstock</i>	
Kecepatan aliran air dalam pipa	2,53 m/s
Bahan <i>Penstock</i>	Pipa PVC
Panjang <i>Penstock</i>	1 m
Diameter <i>Penstock</i>	0,34 m
Tebal <i>Penstock</i>	0,0041 m
Rugi-rugi Turbulensi	0,15 m
Rugi-rugi gesekan pada pipa	0,012 m
<i>Head_{Net}</i>	2,079 m
Persentase kehilangan <i>head</i> akibat rugi-rugi	7,2 %
<i>Safety Factor</i>	5



Gambar 7: Skema Ukuran Pipa *Penstock*

3. Perhitungan Turbin Air

Pemilihan jenis turbin sebaiknya dilakukan dengan mempertimbangkan berbagai parameter khusus yang dapat mempengaruhi sistem operasional turbin, yaitu menggunakan persamaan (9), (10), (11), (12) sebagai berikut.

a) Kecepatan Pancaran Air

$$C_1 = k(2.g.h)^{1/2}(m/s); k = 0,98$$

$$C_1 = 0,98(2 \times 9,8 \times 2,24)^{1/2}$$

$$C_1 = 0,98 \times 6,63 = 6,49 \text{ m/s}$$

b) Kecepatan Keliling Roda Turbin

$$U_1 = 1/2 \times C_1 \times \text{Cos } \alpha_1(m/s); \alpha_1 = 20^\circ \text{ (alpa 1 kisaran } 15^\circ\text{-}20^\circ)$$

$$U_1 = 1/2 \times 6,49 \times \text{Cos } 20^\circ$$

$$U_1 = 0,5 \times 6,49 \times 0,94 = 3,049 \text{ m/s}$$

c) Sudut Relatif Tingkat I

$$\tan \beta_1 = 2 \tan \alpha_1 = 2 \tan 20^\circ$$

$$\tan \beta_1 = 2 \times 0,364 = 0,728 = 36^\circ$$

d) Efisiensi Turbin Maksimum

$$\eta_t = \text{Cos}^2 \alpha_1 (\%)$$

$$\eta_t = \text{Cos}^2 20^\circ (\%) = 0,83 = 83\%$$

Setelah mendapatkan efisiensi turbin, selanjutnya dapat dihitung daya turbin *crossflow* dengan persamaan (6), (7), (8) sebagai berikut.

• Daya Keluaran Turbin

$$P_t = \rho \times g \times h_{net} \times Q \times \eta$$

$$P_t = 1000 \times 9,8 \times 2,079 \times 0,23 \times 0,83$$

$$P_t = 3.889,435 \text{ Watt} = 3,889435 \text{ kW}$$

• Kecepatan Putaran Turbin

Putaran Turbin Rencana: 300 rpm

$$N = 300 \times \frac{H_{net}^{0,745}}{\sqrt{P_t}}$$

$$N = 300 \times \frac{(2,079)^{0,745}}{\sqrt{3,89}} = 300 \times \frac{1,725}{1,97}$$

$$N = 300 \times 0,786 = 235,8 \text{ rpm}$$

Kemudian, kecepatan spesifik turbin dapat dihitung sebagai berikut:

$$N_s = N \times \frac{P_t^{0,5}}{H_n^{1,25}}$$

$$N_s = 235,8 \times \frac{3,89^{0,5}}{2,079^{1,25}} = 235,8 \times \frac{1,97}{2,50}$$

$$N_s = 235,8 \times 0,789 = 186,03 \text{ rpm}$$

4. Karakteristik Turbin Air

Perhitungan karakteristik turbin dapat dihitung menggunakan persamaan (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20), dan (21) sebagai berikut.

1) Mengitung Diameter Luar

$$D_0 = 40 \frac{\sqrt{H_{net}}}{N} = 40 \frac{\sqrt{2,079}}{235,8} = 40 \frac{1,44}{235,8}$$

$$D_0 = 40 \times 0,0061 = 0,24 \text{ m} = 24 \text{ cm}$$

2) Menghitung Diameter Dalam

$$D_1 = \frac{2}{3} \times D_0 = \frac{2}{3} \times 24 = 16 \text{ cm}$$

- 3) Menghitung Jarak Sudu
 Besar sudut kecepatan relatif air masuk merupakan sudut relatif tingkat I yaitu 36°. Maka ketebalan sudu dihitung:

$$S_1 = k \times D_0 = 0,087 \times 24 = 2,088 \text{ cm} = 2 \text{ cm}$$

Maka jarak antar sudu dapat dihitung:

$$t = \frac{S_1}{\sin \beta_1} = \frac{2}{\sin 36} = \frac{2}{0,59} = 3,6 \text{ cm}$$

- 4) Menghitung Lebar Sudu *Runner* Turbin

$$a = 0,17 \times D_0 = 0,17 \times 24 = 4,08 \text{ cm}$$

- 5) Menghitung Jumlah Sudu *Runner* Turbin

$$n = \frac{\pi \times D_0}{t} = \frac{3,14 \times 24}{3,6} = \frac{75,36}{3,6} = 21 \text{ Sudu}$$

- 6) Menghitung Panjang Sudu *Runner* Turbin

$$L = \frac{Q \times N}{50 \times H_n} = \frac{0,23 \times 235,8}{50 \times 2,079} = \frac{54,234}{103,95}$$

$$L = 0,52 \text{ m} = 52 \text{ cm}$$

- 7) Menghitung Jari-jari Kelengkungan Sudu *Runner* Turbin

$$r_c = 0,163 \times D_0 = 0,163 \times 24 = 3,9 \text{ cm}$$

- 8) Menghitung Torsi Turbin

$$T = \frac{P_t}{2\pi \frac{N}{60}} = \frac{2889,435}{2\pi \frac{235,8}{60}} = \frac{3889,435}{24,6804} = 157,59 \text{ Nm}$$

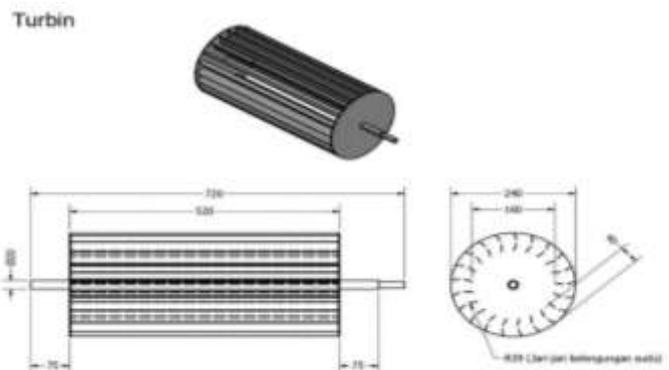
Uraian spesifikasi turbin dan karakteristik *runner* turbin ditunjukkan pada tabel V dan tabel VI berikut.

TABEL V
 SPESIFIKASI TURBIN

Spesifikasi Turbin	
Kapasitas Turbin	4,686 kW
Daya Keluaran Turbin	3,889 kW
Efisiensi Turbin	83%
Kecepatan Putaran Turbin	235,8 rpm
<i>Head Net</i>	2,079 m
Debit Aliran pada Desain	0,23 m ³ /s
Torsi Turbin	157,59 Nm

TABEL VI
 KARATERISTIK *RUNNER* TURBIN

Karakteristik <i>Runner</i> Turbin	
Diameter Luar	0,24 m
Diameter Dalam	0,16 m
Jumlah Sudu	21 sudu
Jarak Antar Sudu	0,036 m
Lebar Sudu	0,0408 m
Panjang Sudu	0,52 m
Jari-Jari Kelengkungan Sudu	0,039 m



Gambar 8: Skema Ukuran Turbin *Crossflow*

5. Dudukan Turbin dan Generator

Dudukan turbin dan generator merupakan tempat diletakkannya turbin dan generator yang dihubungkan menggunakan *pulley*. Ukuran dan bentuk dari dudukan turbin ini menyesuaikan dengan kondisi lapangan tempat penelitian. Uraian spesifikasi dudukan turbin dan generator akan ditunjukkan pada tabel VII.

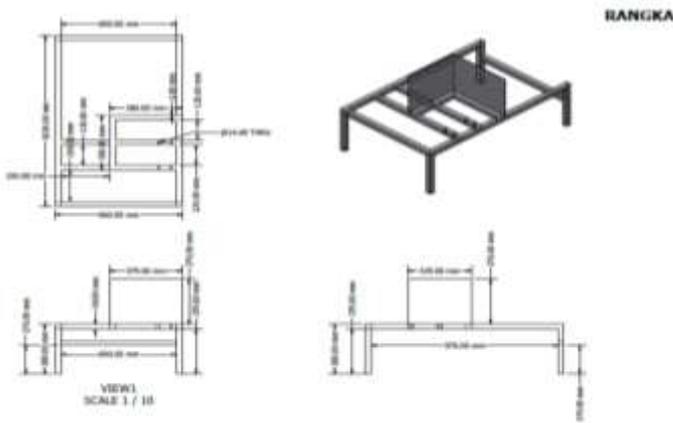
6. Kapasitas Generator

Kapasitas generator terukur harus sama dengan kebutuhan daya listrik dan kemampuan sistem untuk mengubah energi hidrolik menjadi energi listrik secara efisien. Pada penelitian ini dilakukan perhitungan untuk mengetahui karakteristik turbin dengan daya keluaran turbin yaitu sebesar 3,889 kW dan untuk besar efisiensi generator yang diasumsikan adalah 90%. Untuk menghitung daya yang dihasilkan di sisi *input* generator, dapat menggunakan persamaan (2) sebagai berikut.

TABEL VII
 SPESIFIKASI DUDUKAN TURBIN DAN GENERATOR

Spesifikasi Dudukan Turbin dan Generator	
Panjang Rangka	1,030 m
Lebar Rangka	0,660 m
Tinggi Rangka	0,3 m
Lebar Dudukan Generator	0,379 m
Panjang Dudukan Generator	0,359 m





Gambar 9: Skema Ukuran Dudukan Turbin dan Generator

$$P_{in} = \eta_{generator} \times P_{turbine}$$

$$P_{in} = 90 \% \times 3,9 = 3,51 \text{ kW}$$

Sehingga, berdasarkan potensi daya yang ada, kapasitas daya semu generator dapat dihitung menggunakan persamaan (3) yaitu: (dengan asumsi $\cos\phi = 0,8$)

$$P_{semu} = \frac{3,5 \text{ kW}}{0,8} = 4,375 \text{ kVA}$$

7. Analisa Perbandingan Perhitungan dengan Aplikasi Homer

Aplikasi homer digunakan untuk melihat nilai yang paling mendekati kondisi *real* untuk mendukung perancangan PLTMH yang telah dibuat. Berikut beberapa parameter yang dibutuhkan untuk aplikasi homer, yaitu:

TABEL VIII
PARAMETER PERHITUNGAN PADA APLIKASI HOMER

Head	Laju Air	Debit	Efisiensi
2,24 m	0,751 m/s	0,23 m ³ /s	83%



Gambar 10: Hasil Perhitungan Homer

Pada gambar 10, didapatkan hasil daya terbangkit menggunakan aplikasi homer yaitu 4,195 kW. Di mana hasil homer ini membantu penulis dalam mencari perkiraan nilai dari beberapa poin yaitu; persentase rugi-rugi pipa, efisiensi turbin, dan nominal kapasitas turbin.

8. Pemilihan Generator

Terdapat beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan generator yaitu:

- Jenis Generator: Jenis generator terbagi menjadi dua yaitu generator AC dan generator DC. Pada penelitian ini, digunakan jenis generator DC.
- Kapasitas Daya: Kapasitas daya generator perlu disesuaikan dengan debit air dan ketinggian *head* yang tersedia.
- Efisiensi: menggunakan generator dengan efisiensi tinggi akan mengkonversi lebih banyak energi mekanik menjadi energi listrik.
- Kompabilitas dengan turbin: turbin yang dirancang memiliki putaran rata-rata tertinggi adalah 235,8 rpm, sehingga generator yang dipakai penulis memiliki rpm yang cukup rendah yakni 1500 rpm.

9. Perencanaan Pulley dan Belt

Perhitungan *pulley* dan *belt* dapat menggunakan persamaan (33) sebagai berikut.

$$\frac{n1}{n2} = \frac{d2}{d1}$$

$$\frac{235,8}{1500} = \frac{d2}{d1} \Rightarrow \frac{5,895}{37,5} = \frac{d2}{d1}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, sehingga didapatkan diameter *pulley* penggerak yaitu 37,5 cm dan diameter *pulley* yang digerakan yaitu 5,895 cm.

Panjang sabuk yang menghubungkan *pulley* turbin dan *pulley* generator dapat dihitung menggunakan persamaan (34) sebagai berikut, jika asumsi antar poros ditetapkan sebesar 50 cm:

$$L = 2C + \frac{\pi}{2}(d_p + D_p) + \frac{1}{4C}(d_p + D_p)$$

$$L = 2(50) + \frac{3,14}{2}(6 + 37,5) + \frac{1}{4(50)}(6 + 37,5)$$

$$L = 100 + 1,57(43,5) + 0,005(43,5)$$

$$L = 100 + 68,295 + 0,2175$$

$$L = 168,5 \text{ cm} = 168 \text{ cm} = 1680 \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan panjang *belt* yaitu 1680 mm.

C. Analisis Ekonomi

Analisis ekonomi ini akan menggunakan metode BCR, NPV, IRR, PP LCC, dan BEP. Analisis ekonomi ini dimulai dengan melakukan proses penanaman modal untuk pembuatan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dalam periode waktu tertentu dengan harapan akan mendapatkan manfaat dengan adanya pembuatan PLTMH ini. Analisis ekonomi ini dipengaruhi oleh adanya inflasi dan tingkat diskonto, tingkat inflasi ini nantinya digunakan untuk menghitung nilai masa depan (*Present Value*) dari biaya dan pendapatan, nilai inflasi yang dipakai yaitu 3% yang diperoleh dari rata-rata perbandingan tingkat inflasi selama 5 tahun terakhir [19]. Tingkat diskonto dalam analisis ekonomi PLTMH digunakan untuk mempertimbangkan tingkat inflasi dan tingkat risiko yang dihadapi. Tingkat diskonto yang

digunakan yaitu menggunakan tingkat diskonto 6 %. Pemilihan ini berdasarkan acuan dari Bank Indonesia tahun 2024 [20].

Dalam perhitungan biaya investasi PLTMH mencakup komponen yang akan digunakan dan biaya tenaga kerja. Rincian harga investasi yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan pada harga pasar. Berikut rincian biaya investasi pada analisis ekonomi PLTMH.

TABEL IX
RINCIAN BIAYA INVESTASI PLTMH

NO	URAIAN PEKERJAAN	HARGA
1.	Pekerjaan Konstruksi Sipil	Rp4.707.926,41
2.	Pekerjaan Mekanikal Elektrikal	Rp9.267.577,00
JUMLAH HARGA		Rp18.371.080,41
PPN 11.00 %		Rp2.020.818,85
TOTAL HARGA		Rp20.391.899,26

Setelah didapatkan hasil biaya investasi, selanjutnya dapat dicari perhitungan analisis ekonomi berdasarkan parameter yang mempengaruhi keberhasilan proyek ini.

1. Life Cycle Cost (LCC)

Perhitungan LCC dilakukan dengan menghitung biaya operasional & *maintenance*, biaya penyusutan, dan biaya penggunaan air selama umur ekonomis.

a) Biaya Operasional & *maintenance*

Biaya O&M ditetapkan sebesar 2% dari biaya investasi awal dan dipengaruhi oleh tingkat diskonto yang dapat dihitung menggunakan persamaan (39) sebagai berikut.

$$\text{Biaya O\&M} = \text{Biaya Investasi Awal} \times 2 \%$$

$$\text{Biaya O\&M} = \text{Rp}20.391.899,26 \times 2 \%$$

$$\text{Biaya O\&M} = \text{Rp}407.838$$

Dari hasil perhitungan biaya O&M didapatkan hasil sebesar Rp. 407.838 per tahun. Kemudian untuk memastikan keberlangsungan umur ekonomis PLTMH dihitung biaya O&M selama 5 tahun yang dipengaruhi oleh tingkat inflasi dan tingkat diskonto 6% yang diuraikan pada tabel berikut.

TABEL X
HASIL BIAYA O&M

Biaya O&M			
Tahun	Tahun ke-	Biaya O&M Dengan Inflasi 3%/tahun	Present value O&M dengan Discount rate 6%
2024	0	Rp0	Rp0
2025	1	Rp407.838	Rp384.753
2026	2	Rp420.073	Rp373.864
2027	3	Rp432.675	Rp363.283
2028	4	Rp445.656	Rp353.001
2029	5	Rp459.025	Rp343.010
TOTAL		Rp2.165.267	Rp1.817.910

Irene Trivania: Rancang Bangun *prototype* Pembangkit Listrik ...

Berdasarkan tabel X, didapatkan hasil biaya O&M selama 5 tahun dengan inflasi 3% sebesar Rp2.165.267, dan pada tingkat diskonto 6% sebesar Rp1.817.910.

b) Biaya Penyusutan

Faktor yang mempengaruhi biaya penyusutan yaitu biaya investasi awal, umur ekonomis PLTMH, dan nilai residu yang dianggap 0 karena diasumsikan tidak adanya nilai jual kembali pada suatu barang atau aset yang sudah tidak berguna di akhir umur proyek. Biaya penyusutan dapat dihitung menggunakan rumus pada persamaan (42) berikut.

$$\text{Biaya Penyusutan} = \frac{\text{Biaya Investasi} - \text{Nilai Residu}}{\text{Umur Ekonomis PLTMH}}$$

$$\text{Biaya Penyusutan} = \frac{\text{Rp}20.391.899,26 - 0}{5}$$

$$\text{Biaya Penyusutan} = \text{Rp}4.078.380$$

Selanjutnya, dapat dihitung biaya penyusutan yang dipengaruhi oleh tingkat inflasi 3% dan tingkat diskonto 6% selama umur ekonomis sebagai berikut.

TABEL XI
BIAYA PENYUSUTAN

Biaya Penyusutan			
Tahun	Tahun ke-	Biaya Penyusutan Dengan Inflasi 3%/tahun	Biaya Penyusutan dengan Discount rate 6%
2024	0	Rp0	Rp0
2025	1	Rp4.078.380	Rp4.531.962
2026	2	Rp4.200.731	Rp4.403.699
2027	3	Rp4.326.753	Rp4.279.066
2028	4	Rp4.456.556	Rp4.157.960
2029	5	Rp4.590.252	Rp4.040.282
TOTAL		Rp21.652.673	Rp18.179.103

Berdasarkan tabel XI, didapatkan hasil biaya penyusutan selama 5 tahun dengan inflasi 3% sebesar Rp21.652.673 dan dengan tingkat diskonto 6% sebesar Rp18.179.103.

c) Biaya Penggunaan Air

Berdasarkan PERGUB BALI tahun 2017, PT PLN (Persero) untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) ditetapkan sebesar Rp. 50,- untuk air permukaan setiap kWh. Berdasarkan potensi pada PLTMH yaitu sebesar 3,51 kW, dan dengan mempertimbangkan besarnya faktor kapasitas berdasarkan Peraturan Menteri ESDM No.4 Tahun 2020 pasal 7 ayat 4 butir a nomor 1, maka besarnya energi yang diterima PLN dikalikan faktor kapasitas sebesar 65% [17]. Sehingga untuk menghitung energi yang dihasilkan PLTMH per tahun dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Energi yang dihasilkan/tahun} = 3,51 \text{ kW} \times 65\% \times 8760 \text{ Jam}$$

$$\text{Energi yang dihasilkan/tahun} = 19.985,94 \text{ kWh/tahun}$$



Setelah diketahui energi yang dihasilkan PLTMH per tahun, selanjutnya dapat dihitung biaya penggunaan air permukaan yang harus dibayarkan kepada Pemerintah Provinsi Bali tiap tahunnya menggunakan persamaan (43) sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Biaya air/Tahun} &= \text{Rp}.50 \times \text{Energi yang dihasilkan PLTMH/tahun} \\ \text{Biaya air/Tahun} &= \text{Rp}.50 \times 19.985,94 \text{ kWh} \\ \text{Biaya air/Tahun} &= \text{Rp}.999.297/\text{tahun} \end{aligned}$$

Setelah didapatkan biaya penggunaan air per tahun yang harus dibayarkan kepada Pemerintah Provinsi Bali, selanjutnya dapat dilakukan perhitungan biaya penggunaan air selama umur ekonomis PLTMH yang dipengaruhi oleh tingkat diskonto 6% sebagai berikut.

TABEL XII
BIAYA PENGGUNAAN AIR PERMUKAAN

Biaya Penggunaan Air Permukaan			
Tahun	Tahun ke-	Jumlah	Biaya Penggunaan Air dengan <i>Discount rate</i> 6%
2024	0	Rp0	Rp0
2025	1	Rp999.297	Rp942.733
2026	2	Rp999.297	Rp889.371
2027	3	Rp999.297	Rp839.029
2028	4	Rp999.297	Rp791.537
2029	5	Rp999.297	Rp746.733
TOTAL		Rp4.996.485	Rp4.209.403

Berdasarkan tabel XII, didapatkan hasil biaya penggunaan air permukaan selama 5 tahun yaitu sebesar Rp4.996.485 dan pada tingkat diskonto 6% sebesar Rp4.209.403. Setelah didapatkan hasil perhitungan mengenai biaya investasi, biaya O&M, biaya penyusutan, serta biaya penggunaan air. Langkah selanjutnya adalah menghitung *Life Cycle Cost* (LCC). Rincian perhitungan biaya LCC dapat dilihat pada tabel berikut.

TABEL XIII
BIAYA LCC

LCC		
Parameter	Biaya Pengeluaran	PV <i>Cost Discount rate</i> 6%
Biaya Investasi	Rp20.391.899,26	Rp20.391.899,26
Biaya O&M	Rp2.165.267	Rp1.817.910
Biaya Penyusutan	Rp21.652.673	Rp18.179.103
Biaya Penggunaan Air	Rp4.996.485	Rp4.209.402
Total	Rp49.206.324,26	Rp44.598.314,26

Berdasarkan tabel XIII, didapatkan biaya pengeluaran selama umur ekonomis yang telah dipengaruhi inflasi yaitu Rp49.206.324,26 dan biaya LCC selama umur ekonomis dengan tingkat diskonto 6% sebesar Rp44.598.314,26.

2. Proyeksi Pendapatan

Untuk menghitung proyeksi pendapatan diperlukan besarnya harga jual listrik kepada PLN. Berdasarkan Peraturan Menteri ESDM No.4 Tahun 2012 pasal 2 poin b, harga pembelian tenaga listrik pada tegangan rendah adalah $\text{Rp}1.004 / \text{kWh} \times F$. Dimana F adalah faktor intensif yang relevan dengan lokasi pembelian lokasi pembelian tenaga listrik oleh PT PLN (Persero), untuk wilayah Jawa dan Bali, nilai F yaitu 1. Dalam satu tahun jika PLTMH terus beroperasi, maka daya yang dihasilkan PLTMH dalam setahun yaitu 19.985,94 kWh. Maka proyeksi pendapatan yang dihasilkan dari penjualan listrik kepada PLN adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Cash in Flow} &= \text{Daya listrik yang dihasilkan PLTMH/tahun} \times \\ &\quad \text{Harga jual ke PLN} \times F \\ \text{Cash in Flow} &= 19.985,94 \text{ kWh} \times \text{Rp}.1004 \text{ kWh} \times 1 \\ \text{Cash in Flow} &= \text{Rp}.20.065.884 \end{aligned}$$

Setelah didapatkan biaya pendapatan dari hasil penjualan daya listrik ke PLN selama setahun. Selanjutnya dapat dihitung biaya pendapatan selama umur ekonomis yang dipengaruhi oleh tingkat diskonto 6% yang akan ditampilkan pada tabel berikut.

TABEL XIV
PROYEKSI PENDAPATAN

Tahun	Tahun ke-	Biaya Proyeksi Pendapatan dengan <i>Discount rate</i> 6%
2024	0	Rp0
2025	1	Rp18.930.079
2026	2	Rp17.858.565
2027	3	Rp16.847.703
2028	4	Rp15.894.060
2029	5	Rp14.994.396
TOTAL		Rp84.524.803

Berdasarkan tabel XIV, maka proyeksi pendapatan selama umur ekonomis dengan tingkat diskonto 6% sebesar Rp84.524.803.

3. Cash Flow

Nilai *cash flow* dapat dihitung dengan cara mengurangi *cash in* (biaya proyeksi pendapatan) dengan *cash out* (biaya O&M, biaya penyusutan, biaya penggunaan air, dan biaya investasi) yang ditampilkan pada tabel XV.

TABEL XV
CASH FLOW

Cash Flow	
Tahun	<i>Discount Rate</i> 6%
2024	- Rp 20.391.899,26
2025	-Rp 6.636.834
2026	Rp6.219.861
2027	Rp12.012.566
2028	Rp11.219.512
2029	Rp10.474.549
TOTAL	Rp10.474.549

Berdasarkan tabel XV, menunjukkan total *cash flow* pada umur ekonomis PLTMH dengan tingkat diskonto 6% yaitu

sebesar Rp10.474.549. Jika dilihat pada tabel, analisis *cash flow* telah mengalami keuntungan pada tahun pertama umur ekonomis sesudah *discount* 6 %.

4. Analisis Parameter Ekonomi

Hasil analisis ekonomi PLTMH ditampilkan pada table XVI berikut.

TABEL XVI
ANALISIS PARAMETER EKONOMI

Analisis Parameter Ekonomi	
Parameter	DR 6 %
BCR	1,51
NPV	Rp30.827.069
IRR	12,3%
BEP	46.585,056
LCC	Rp44.598.314
PP	1,52

Pada tabel XVI, diperoleh nilai-nilai parameter ekonomi yang berfungsi sebagai indikator kelayakan PLTMH yaitu:

Benefit Cost Ratio (BCR) merupakan perbandingan antara manfaat yang diperoleh dengan aspek biaya dan kerugian yang harus ditanggung (*cost*) akibat investasi tersebut. Nilai BCR yang diperoleh yaitu 1,51 pada tingkat diskonto 6%. Dengan nilai BCR > 1, maka proyek dianggap layak untuk dilakukan karena manfaat yang dihasilkan lebih besar daripada biaya yang dikeluarkan.

Besarnya nilai NPV yang diperoleh yaitu Rp30.827.069 di tingkat diskonto 6%. Karena nilai NPV yang diperoleh positif, maka proyek ini dapat dinyatakan layak berdasarkan parameter NPV.

Besarnya IRR yang diperoleh adalah 12,3% pada tingkat diskonto 6%. Nilai IRR dikatakan layak jika nilainya melebihi tingkat pengembalian yang diharapkan. Syarat IRR dikatakan layak yaitu nilai IRR melebihi 11,4% berdasarkan *Expected Future Annual Return* Indonesia. Karena nilai IRR yang diperoleh telah melebihi syarat 11,4% maka proyek PLTMH ini dikatakan layak.

Unit BEP menghitung jumlah penjualan yang diperlukan untuk mencapai titik impas. Besarnya nilai BEP yaitu 46.585,056 kW. Jadi banyaknya daya yang harus dijual ke PLN untuk mencapai BEP yaitu 46.585,056 kW.

Analisis *payback period* bertujuan untuk menghitung berapa lama investasi akan kembali pada saat mencapai titik impas (BEP). Lama pengembalian modal investasi yang diperoleh yaitu 1 tahun 5 bulan 2 minggu pada tingkat diskonto 6%. Sehingga berdasarkan parameter PP pengembalian modal PLTMH yang tidak melebihi umur ekonomis, maka proyek PLTMH ini dikatakan layak.

5. Analisis Perbandingan Biaya Antara PLTMH dan PLN

Perbandingan biaya antara PLTMH dan PLN dihitung berdasarkan energi yang dihasilkan oleh PLTMH selama umur

ekonomis yaitu sebanyak 99.929,7 kWh selama umur ekonomis (5 tahun) atau 19.985,94 kWh/tahun.

a) Pengeluaran Biaya PLN

Berdasarkan harga tarif *adjustment* PLN pada bulan Oktober-Desember 2024, harga beli listrik per kWh adalah Rp1.699,53 pada golongan R-2/TR daya 4400 VA dan biaya pemasangan listrik baru untuk daya 4400 VA adalah Rp5.096.400. Golongan tarif 4400 VA pada PLN dipilih karena daya yang dapat dibangkitkan oleh PLTMH yaitu 4375 VA, dengan *range* daya yang dihasilkan tidak terlalu jauh. Maka dapat dibandingkan dengan golongan tariff 4400 VA. Perhitungan biaya yang harus dikeluarkan jika menggunakan PLN selama umur ekonomis akan ditampilkan pada tabel XVII berikut.

TABEL XVII
PENGELUARAN BIAYA PLN

Pengeluaran Biaya PLN				
Tahun	Tahun ke-	Jumlah energi kWh/Tahun	Harga beli listrik PLN/kWh	Biaya pengeluaran/tahun
2024	0	-	-	-
2025	1	19.985,94 kWh	Rp1.699,53	Rp33.966.705
2026	2	19.985,94 kWh	Rp1.699,53	Rp33.966.705
2027	3	19.985,94 kWh	Rp1.699,53	Rp33.966.705
2028	4	19.985,94 kWh	Rp1.699,53	Rp33.966.705
2029	5	19.985,94 kWh	Rp1.699,53	Rp33.966.705
TOTAL		99.929,70 kWh	Rp8.498	Rp169.833.525

Berdasarkan tabel XVII, maka biaya yang harus dikeluarkan jika menggunakan listrik PLN selama umur ekonomis yaitu Rp169.833.525 dan ditambah dengan biaya pasang listrik baru daya 4400 VA adalah Rp5.096.400, sehingga total biaya yang harus dikeluarkan kepada PLN menjadi Rp.174.929.925.

TABEL XVIII
PERBANDINGAN PENGELUARAN BIAYA PLTMH DAN PLN

Jenis Pengeluaran	PLTMH	PLN
Pengeluaran selama umur ekonomis	Rp44.598.314	Rp174.929.925

Berdasarkan tabel XVIII, dapat dilihat perbandingan pengeluaran antara PLTMH dan PLN. Jika dibandingkan dengan pengeluaran PLTMH yaitu sebesar Rp44.598.314, dan pengeluaran PLN sebesar Rp174.929.925. Maka dapat dikatakan bahwa dengan adanya PLTMH ini mengeluarkan biaya yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan harga yang perlu dibayar kepada PLN.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan menyesuaikan karakteristik lapangan dan aliran air yang ada pada desa Medewi, penulis telah memilih turbin *cross-flow* dengan diameter luar 24 cm dan diameter



- dalam 16 cm. Turbin ini dilengkapi dengan 21 sudu dengan lebar 0,48 cm dan panjang 53 cm yang di mana jarak antar setiap sudu adalah 3,6 cm. Kemudian, didesain kedudukan turbin dengan panjang 103 cm, lebar 66 cm dan tinggi 30 cm. Terakhir pada desain pipa *penstock* memiliki panjang 43 cm, lebar 18 cm, dan tinggi 100 cm.
2. Berdasarkan perhitungan analisis ekonomi PLTMH, banyaknya investasi yang perlu dikeluarkan untuk PLTMH yaitu Rp20.391.889,26. Di mana dengan melakukan perhitungan parameter, diperoleh nilai BCR yaitu 1,51 pada DR 6 % yang melebihi 1, nilai NPV yaitu Rp 30.827.069 pada DR 6 % yang bernilai positif, nilai IRR yaitu 12,3% pada DR 6% yang melebihi 11,4%, nilai BEP 46.585,056 kW yang harus dijual kepada PLN untuk mencapai nilai balik modal, dan PP yaitu selama 1 tahun 5 bulan 2 minggu pada DR 6% yang tidak melebihi umur ekonomis. Berdasarkan hasil perhitungan parameter tersebut maka proyek PLTMH ini dikatakan layak.
 3. Berdasarkan perbandingan analisis ekonomi untuk penggunaan listrik selama umur ekonomis, PLTMH lebih layak untuk digunakan jika dibandingkan dengan PLN karena biaya yang dikeluarkan oleh PLTMH selama umur ekonomis lebih sedikit dibandingkan dengan menggunakan sumber PLN.

REFERENSI

- [1] Wikipedia. (2023). *Mikrohidro*. Retrieved from Wikipedia: <https://id.wikipedia.org/wiki/Mikrohidro>
- [2] Azharul, F., Dharmanto, A., & Wilarsu. (2020). Perhitungan Turbin Air Mikrohidro Tipe Cross-flow Kapasitas 2.500 Watt.
- [3] Putra, I. W., Weking, A. I., & Jasa, L. (2018). Analisa Pengaruh Tekanan Air Terhadap Kinerja PLTMH dengan Menggunakan Turbin Archimedes Screw. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 385-392.
- [4] Wiranata, I. A., Janardana, I. N., & Wijaya, I. A. (2020). Rancang Bangun Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Menggunakan Turbin Cross-Flow. *Jurnal Spektrum*, 7(4), 151-160.
- [5] Murni, S. S., & Suryanto, A. (2020). Analisis Efisiensi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Menggunakan Homer (Studi Kasus Parakandowo Kabupaten Pekalongan). *Jurnal Listrik, Instrumensasi dan Elektronika Terapan*, 1(2), 34-38.
- [6] Utama, H. S., & Kusriyanto, M. (2018). Prototype Pembangkit Mikrohidro Terintegrasi Beban Komplemen. *Teknoin*, 24(1), 55-56.
- [7] Sukanta, S., & Kusmantoro, A. (2013). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Jantur Tabalas Kalimantan Timur. *Jurnal Teknik Elektro*, 5(2), 58-63.
- [8] Virgunia, D. A., Sukerayasa, I. W., Ariastina, W. G., Setiawan, I. N., Giriantari, I. A., & Satya Kumara, I. N. (2024). Perancangan PLTMH Sungai Yeh Ha di Karangasem dengan Turbin Crossflow. *Jurnal SPEKTRUM*, 256-268.
- [9] Swasty, Renatha (2023). Rumus Luas Trapesium
- [10] Suatan, R. A., Giriantari, I. D., & Sukreyasa, I. (2020). Kajian Ekonomi Rencana PLTMH di Desa Panji. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 19, 263-270.
- [11] Alaydrus, Muhammad bagir. (2020). Noncircular Conduit.
- [12] Damarian, K. D., Giriantari, I. D., & Jati, I. (2023). Studi Kelayakan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di Sungai Yeh Dikis banjar Lebah Kabupaten tabanan. *Jurnal SPEKTRUM*, 26-34.
- [13] Giatman, M. (1970). *Ekonomi Teknik*. Jakarta: SCRIBD. Retrieved from Universitas Udayana Library.
- [14] Riadi, Muchlisin. (2021). Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). [Kajianpustaka.com. https://www.kajianpustaka.com/2016/10/pembangkit-listrik-tenaga-mikro-hidro.html](https://www.kajianpustaka.com/2016/10/pembangkit-listrik-tenaga-mikro-hidro.html)
- [15] Lazuardi, L., Rizza, M. A., Maryono, M. (2024). Application planning of microhydro electricity generating technology with 55 kw power in the mountains using the river flow of coban rondo waterfall, krajaan, pandesari, kec. Pujon, malang, east jawa. https://www.researchgate.net/figure/Tanaka-suiryoku-Turbine-selection-chart_fig1_385826974
- [16] PLN. (2024). Penetapan Penyesuaian Tarif Tenaga Listrik (Tariff Adjustment) Oktober – Desember 2024.
- [17] PERMEN ESDM No. 4 th 2020 Pasal 7 ayat 4 butir a. nomor 1. Tentang Perubahan Kedua atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 50 tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik.
- [18] Fauziyah, N. (2017). Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Dengan Turbin Cross Flow Menggunakan Generator DC Magnet Permanen. Retrieved from [Repository.its.ac.id: https://repository.its.ac.id/48118/1/2214039029-Non_Degree.pdf](https://repository.its.ac.id/48118/1/2214039029-Non_Degree.pdf)
- [19] Indonesia, B (2019-2023). *Data Inflasi*. Retrieved Jul, I 3, 2024, from <https://www.bi.go.id/id/statistik/indikator/data-inflasi.aspx>
- [20] Indonesia, B. (2024). *BI-Rate*. Retrieved Januari 5, 2025, from <https://www.bi.go.id/id/statistik/indikator/bi-rate.aspx>
- [21] Leba, G. I. M., Setiawan, I. N., Sukerayasa, I. W., Ariastina, W. G., Giriantari, I. A. D., Kumara, I. N. S. (2024). Analisis Ekonomi Sistem PLTMH dan Pompa Air Sungai Yeh Ha di Kabupaten Karangasem. *Jurnal SPEKTRUM*, 246-255.