

POTENSI ENERGI AIR SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) DI ALIRAN SUNGAI ANYAN SALURAN DOPLANG, SAMPANG, CILACAP

Kholistianingsih¹, Isra' Nuur Darmawan², Nur Johara³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Wijayakusuma Purwokerto

Email: kholistianingsih@unwiku.ac.id

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan ketinggian dan debit air sebagai tenaga penggerak dalam skala kecil. Di Kecamatan Sampang, Cilacap terdapat Sungai Anyan yang berdasarkan data debit dari Balai PSDA Serayu Citanduy Purwokerto memiliki aliran yang cukup stabil karena mendapat aliran langsung dari Bendung Gerak Serayu, sehingga debit aliran airnya dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit energi listrik tenaga air. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi daya yang dapat dihasilkan serta mengetahui kelayakan ekonomi pada perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Saluran Doplang. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah mencari nilai debit andalan menggunakan persamaan Weibull untuk probabilitas debit air serta analisis perhitungan daya dan energi, serta analisis kelayakan ekonomi pada perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Saluran Doplang. Berdasarkan hasil analisis perhitungan debit air yang dapat diandalkan menggunakan persamaan Weibull didapatkan nilai 0,31 m³/det dengan tinggi jatuh efektif air adalah 1,8 meter. Potensi daya yang dapat dihasilkan pada perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Saluran Doplang adalah sebesar 4,483 kW dan produksi energi sebesar 39271,08 kWh dengan pemilihan turbin jenis Propeller. Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Saluran Doplang tidak layak untuk dibangun karena tidak memenuhi indikator kelayakan ekonomi yang berlaku yaitu: nilai Benefit Cost Ratio (BCR) adalah 0,86, nilai Net Present Value (NPV) adalah -Rp. 108.549.299,70, nilai Internal Rate of Return (IRR) adalah 1,71%, dan waktu Payback Periode adalah 17,5 tahun.

Kata kunci: *Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro, BCR, NPV, IRR, Payback Periode.*

1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara yang mempunyai keanekaragaman dan kekayaan alam yang melimpah, diantaranya tenaga air, angin, matahari, minyak bumi, gas, batubara, serta energi terbarukan lainnya. Semakin pesatnya perkembangan teknologi saat ini, hampir semua kebutuhan manusia bergantung pada energi listrik. Kebutuhan kelistrikan Indonesia masih didominasi oleh energi primer yang bersumber dari energi fosil. Pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia juga masih sangat rendah jika dibandingkan dengan pemanfaatan energi terbarukan di negara tetangga dan negara maju di dunia[1].

Energi fosil adalah energi dari bahan bakar minyak (BBM) yang suatu saat pasti akan habis karena jumlahnya yang semakin sedikit serta tidak dapat diperbaharui dan tidak ramah lingkungan.

Beberapa energi alternatif yang dapat berpotensi untuk menghasilkan listrik yaitu energi air, energi angin, dan energi matahari. Salah satu energi alternatif yang dapat dimanfaatkan yaitu Pembangkit Listrik

Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) yang menggunakan energi air sebagai penggerak yang memiliki kapasitas 5 kW – 100 kW.

Di Kecamatan Sampang, Cilacap terdapat Sungai Anyan yang berdasarkan data debit dari Balai PSDA Serayu Citanduy Purwokerto memiliki aliran yang cukup stabil karena mendapat aliran langsung dari Bendung Gerak Serayu, sehingga debit aliran airnya dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit energi listrik dengan daya keluaran mulai dari skala puluhan sampai ribuan watt, tergantung dari debit air, head, serta teknologi yang digunakan. Berdasarkan hal tersebut, pada studi ini akan dilakukan suatu kajian tentang potensi energi air yang dimiliki oleh Sungai Anyan Saluran Doplang, kecamatan Sampang, Cilacap yang dapat dimanfaatkan untuk membuat suatu Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH).

2. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian dari Vita Oktanti yang berjudul “Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Desa Cikeusik Kecamatan Cidahu Kabupaten Kuningan Provinsi Jawa Barat” menjelaskan bahwa Sungai Cisanggarung memiliki debit sebesar $1,509 \text{ m}^3/\text{det}$ serta menggunakan turbin jenis *Axial Flow Pump As Turbine* mampu menghasilkan daya sebesar 11,934 kW dan energi sebesar 104.545,17 kWh. Rencana Anggaran Biaya yang didapat adalah sebesar Rp. 1.242.193.008,33.

Kemudian penelitian dari Wahyuni Martiningsih dan Achmad Bahtiar Rifa’i yang berjudul “Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Sungai Ciliman Kabupaten Pandeglang” menjelaskan bahwa Sungai Ciliman di Kabupaten Pandeglang memiliki debit rata-rata mencapai $9,18 \text{ m}^3/\text{s}$ serta *head* yang mencapai 4,9 m dapat memproduksi energi tahunan sebesar 2679,64 MWH yang menggunakan turbin jenis propeller [2].

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Secara sederhana Pembangkit Listrik Tenaga Air diartikan sebagai listrik yang dihasilkan oleh energi air.

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

Mikrohidro berasal dari kata mikro yang artinya kecil dan hidro yang artinya air. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan ketinggian dan debit air sebagai tenaga penggerak dalam skala kecil. Kapasitas output PLTMH bergantung dari *variable* debit air (Q) serta tingginya jatuhnya air (H) [3][4]. PLTMH disebut sebagai *clean resource* karena pembangkit ini menggunakan sumber daya alam yang ramah lingkungan.

PLTMH mengubah tenaga penggerak yang berasal dari air menjadi listrik. Prinsip kerja dari PLTMH yaitu memanfaatkan beda ketinggian (H) dan debit (Q) pada aliran sungai [5]. Semakin besar nilai *head* artinya juga memperbesar potensi energi air sehingga memperbesar potensi daya yang dapat dibangkitkan.

Pada Gambar 2.2. menunjukkan skema Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH).



Gambar 2.1. Skema PLTMH

(Sumber: Kementerian ESDM RI, 2018)

2.3 Analisis Hidrologi

Hidrologi atau siklus air adalah ilmu yang mempelajari serta menganalisa pendistribusian air di muka bumi [6]. Siklus hidrologi merupakan gambaran proses siklus air yang berlangsung terus menerus dari bumi menuju atmosfer kemudian kembali lagi ke bumi [7]. Pemilihan lokasi PLTMH serta kepastian layaknya pembangunan PLTMH yang sudah direncanakan sangat dipengaruhi oleh kondisi hidrologi ini.

Kondisi hidrologi yang kurang layak akan berakibat pada berkurangnya debit aliran, yang mana akan berpengaruh terhadap efisiensi dan daya yang dihasilkan.

1. Analisa Debit Andalan (*Dependable Flow*)

Debit andalan adalah jumlah ketersediaan debit sepanjang tahun serta besarnya resiko kegagalan tertentu yang dimanfaatkan untuk berbagai keperluan tertentu, misalnya sebagai irigasi, PLTA, maupun sebagai air baku. Pada PLTMH memiliki keandalan 80% dan 90% [8].

2. Kurva Durasi Aliran (*Flow Duration Curve*)

Pengurutan data debit rata – rata dari terbesar sampai terkecil dan diberikan probabilitas yang dihitung dengan persamaan Weibull dapat digunakan untuk mengetahui besar aliran sungai yang mengalir dalam waktu satu tahun. Rumus dapat dilihat pada Persamaan 2.1.

$$P_w = \frac{m}{n+1} \times 100\% \dots \dots \dots 2.1$$

Dimana:

P_w = nilai probabilitas, M = data ke-n, n = jumlah data

Penentuan Debit Pada Pembangkit

Debit desain didapatkan dengan optimasi tingkatan nilai debit yang berbeda – beda, yang kemudian akan menghasilkan nilai debit optimum. Daya teoritis dalam interval tertentu dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.2.

$$P_n = Q_n \times \eta \times h \times g \dots \dots \dots 2.2$$

Jika Flow Duration Curve pada setiap interval 5% memiliki nilai 8760 (jumlah jam dalam satu tahun) maka energi tahunan dapat dihitung seperti Persamaan 2.3.

$$E = \sum_{n=1}^{20} \left(\frac{P_{s(n-1)} + P_{sn}}{2} \right) \left(\frac{5}{100} \right) 8760 \dots \dots \dots 2.3$$

Dimana:

P_n	=	daya (kW)	g	=	daya gravitasi (m/dt ²)
Q_n	=	debit saat n (m ³ /detik)	η	=	daya dan debit pada interval tertentu
h	=	tinggi jatuh air (m)	E	=	energi tahunan (kWh)

2.4 Analisis Hidrolika

Pada suatu lokasi potensi PLTMH terdiri dari beberapa bangunan sipil, mekanik, dan elektrik[9].

Pada suatu lokasi potensi PLTMH terdiri dari beberapa bangunan sipil, mekanik, dan elektrik[9].

1. Bendung (DAM) : Bendungan adalah bangunan penutup sungai agar terbentuk waduk.
2. Saringan (Sandtrap) : Saringan berfungsi sebagai penyaring air dari kotoran atau sampah yang dapat mengganggu operasi mesin pada PLTMH.
3. Intake : Intake berfungsi sebagai tempat masuknya air dari bendungan dan sandtrap sebelum dibawa ke saluran pembawa.
4. Pintu Sorong : Pintu sorong adalah sebuah bangunan hidraulik yang digunakan sebagai pengatur debit pada saluran irigasi.
5. Saluran Pembawa (Headrace) : Saluran pembawa air adalah bangunan yang berfungsi untuk mengalirkan air dari intake ke bak penenang dan untuk mempertahankan kestabilan debit air.
6. Saluran Pelimpah (Spillway) : Adalah bagian yang berfungsi untuk mengurangi jumlah kelebihan air dari saluran pembawa.
7. Bak Penenang (Forebay) : Bak penenang berfungsi untuk mengurangi kecepatan air yang masuk dari saluran, sehingga turbulensi air pada saat masuk ke dalam penstock berkurang.
8. Pipa Pesat (Penstock) : Pipa pesat berfungsi sebagai saluran untuk menghantarkan air dari bak menuju turbin.
9. Katup Utama (Main Valve/Inlet Valve) : Katup utama berfungsi sebagai pembuka aliran air dan penutup aliran (menghentikan turbin) yang dipasang pada bagian depan turbin.

10. Saluran Pembuang Akhir (Trail Race) : Berfungsi sebagai pengalir air yang keluar dari putaran turbin yang menuju ke sungai.

11. Rumah Pembangkit (Power House) : Adalah bangunan yang berfungsi untuk melindungi peralatan mekanikal dan elektrik seperti turbin, generator, dan kontrol panel dari gangguan cuaca dan pencegahan dari pihak yang tidak berkepentingan serta pencurian alat-alat tersebut.

2.5 Tinggi Jatuh Efektif (Heff)

Tinggi jatuh efektif adalah jumlah selisih antara elevasi muka air waduk (EMAW) dengan *tail water level* (TWL) yang dikurangi dengan total hilang tinggi tekanan [10].

2.6 Turbin Air

Turbin berfungsi sebagai pengubah energi potensial air menjadi putaran (energi mekanis) dalam bentuk putaran poros, yang kemudian akan dirubah oleh generator menjadi energi listrik. Pemilihan turbin pada suatu pembangkit didasarkan pada beberapa pertimbangan antara lain head dari lokasi yang bersangkutan, daya yang ingin dibangkitkan, variasi debit air yang mengalir, serta kecepatan putaran turbin yang diinginkan untuk memutar generator. *Head* rendah bernilai 2 – 30 m, *head* sedang bernilai 30 – 100 m, dan *head* tinggi bernilai lebih dari 100 m.

2.7 Klasifikasi Turbin

Menurut prinsip kerjanya turbin air terbagi menjadi turbin impuls dan turbin reaksi, penjelasannya sebagai berikut:

1. Turbin Impuls

Turbin impuls adalah turbin air yang merubah aliran air (energi potensial) menjadi semburan air melalui *nozzle* yang diarahkan ke turbin. Semburan air tersebut kemudian menggerakkan sudu-sudu turbin berputar sehingga menghasilkan energi mekanik. Contoh turbin impuls adalah pelton, turgo, dan *crossflow*. Turbin pelton adalah turbin impuls yang dipakai untuk tinggi air jatuh (*head*) yang besar. Turbin turgo cocok sebagai pengganti turbin Pelton *multi-jet* dengan *head* yang rendah, turbin ini mampu digunakan dalam *head* yang rendah ataupun tinggi berkisar antara 15 – 300 meter. Turbin *crossflow* merupakan turbin impuls dengan tipe aliran radial. Turbin *crossflow* dapat dioperasikan pada debit air sebesar 20 liter/dt hingga 10.000 liter/dt dan head antara 1 m sampai 200 m.

2. Turbin Reaksi

Pada turbin ini energi mekanik yang dihasilkan bukan hanya akibat energi kinetik tetapi diakibatkan juga oleh adanya perbedaan tekanan. Jenis turbin reaksi adalah turbin Francis, turbin Propeller/Kaplan.

2.8 Pemilihan Tipe Turbin Air

Dalam pemilihan jenis turbin air didasarkan pada tinggi jatuh air. Klasifikasi *head* atau tinggi jatuh air dapat dilihat pada Tabel 2.1.

2.9 Generator

Generator adalah alat yang digunakan untuk merubah energi putar mekanis menjadi energi listrik melalui adanya medan magnet yang diputar melalui rotor dan akan menimbulkan medan magnet yang timbul di sisi stator. Semakin besar putaran generator maka semakin besar energi listrik yang didapat dan semakin besar energi kinetis yang diperlukan untuk memutarnya.

Secara umum ada dua jenis generator yang biasa dipakai pada PLTMH yaitu generator induksi dan generator sinkron. Generator induksi (asinkron) adalah generator yang menggunakan prinsip induksi elektromagnetik dalam pengoperasiannya. Generator ini dapat bekerja pada putaran rendah serta tidak tetap kecepatannya, sehingga generator induksi banyak digunakan pada pembangkit listrik dengan daya yang rendah seperti pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro.

Efisiensi generator secara umum yang digunakan pada sebuah PLTMH 3 fasa dengan frekuensi 50 hz dan tegangan keluaran 220/380 V adalah sebagai berikut: aplikasi < 10 kVA, efisiensi 0,7 – 0,8,

aplikasi 10 – 20 kVA, efisiensi 0,8 – 0,85, aplikasi 20 – 50 kVA, efisiensi 0,85, aplikasi 50 – 100 kVA, efisiensi 0,85 – 0,9, aplikasi 100 kVA, efisiensi 0,9 – 0,95.

Tabel 2.1. Klasifikasi Head

Jenis Turbin	Variasi Head (m)
<i>Kaplan dan Propeller</i>	$2 < H < 20$
<i>Francis</i>	$10 < H < 350$
<i>Pelton</i>	$50 < H < 1000$
<i>Crossflow</i>	$6 < H < 100$
<i>Turgo</i>	$50 < H < 250$

(Sumber: Modul Pelatihan studi Kelayakan Pembangunan Mikrohidro, 2010,p.47)

2.10 Peralatan Kontrol

Berfungsi sebagai pengatur pendistribusian daya listrik yang dihasilkan.

1. Peralatan Pengaman : Berfungsi sebagai penghubung atau pemutus daya listrik dari suatu rangkaian ke rangkaian lain, serta untuk melindungi beban dari arus yang berlebih ataupun saat terjadi hubung singkat arus. Contoh peralatan pengaman diantaranya *CB (Circuit Breaker)*, *MCB (Miniatur Circuit Breaker)*, *NFB (No Fuse Breaker)* atau *MCCB (Molded Case Circuit Breaker)*.
2. Electronic Load Controller (ELC) : *ELC* berfungsi untuk mengatur kecepatan turbin pada sistem pembangkit menggunakan generator sinkron.
3. *Induction Generator Controller (IGC)* : *IGC* berfungsi sebagai pengatur tegangan (*Automatic Voltage Regulator*) pada sistem pembangkit dengan generator asinkron.
4. Kontakor Magnet (*Magnetic Contactor*) : Kontakor magnet merupakan peralatan yang digunakan sebagai penghubung/kontak dengan kapasitas besar serta dengan menggunakan daya yang minimal.
5. Beban *Ballast* : Beban *ballast* berfungsi sebagai pembuang energi listrik yang dibangkitkan oleh generator tetapi tidak terpakai oleh konsumen.

2.11 Perhitungan Energi Listrik

Besar jumlah energi tahunan yang dihasilkan oleh PLTMH dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.4.

$$E = \sum p \times ng \times N_s \dots \dots \dots 2.4$$

Dimana:

E = energi listrik (kWh) Ng = efisiensi generator
 $\sum p$ = daya yang dibangkitkan turbin (W) Ns = jumlah hari dalam setahun = 365

Jika ingin menentukan energi andalan yang dapat dibangkitkan, maka energi total yang sudah didapat harus dikalikan dengan peluang kejadian debit.

2.12 Analisis Kelayakan Ekonomi

Rumus yang digunakan untuk memperkirakan besar biaya perencanaan PLTMH adalah sebagai berikut: [11]

1. Biaya Engineering (C1)

Adalah jumlah biaya yang dibutuhkan untuk perhitungan jasa konsultasi dan konstruksi, persamaan untuk estimasi biaya ini dapat dilihat pada Persamaan 2.5.

$$C1 = 0,37.n^{0,1}.\left(\frac{MW}{Hg^{0,3}}\right)^{0,54} \cdot 10^6 \dots \dots \dots 2.5$$

Dimana:

C1 = estimasi biaya *engineering* (\$ kanada) MW = total kapasitas terpasang (MegaWatt)
n = jumlah turbin Hg = tinggi jatuh kotor (meter)

2. Biaya Peralatan hidromekanik (C2)

Terdiri atas biaya generator, turbin, dan governor. Persamaan empiris yang digunakan seperti pada Persamaan 2.6.

$$C2 = CG + CT \dots \dots \dots 2.6$$

Turbin Propeller

$$CT = 0,125 \cdot n^{0,96} \cdot Jt \cdot Kt \cdot d^{1,47} ((1,17Hg^{0,12}) + 4) \cdot 10^6 \dots 2.7$$

Dimana:

C2	= estimasi biaya hidromekanik (\$kanada)	Jt	= faktor peningkatan tinggi jatuh (1 jika H < 25 meter, 1,1 jika H > 25 meter)
CG	= biaya generator (\$kanada)	Kt	= faktor penurunan diameter kecil (0,9 jika d < 1,8 meter, 1 jika d > 1,8 meter)
CT	= biaya turbin dan governor (\$kanada)		
d	= diameter runner turbin (meter)		

3. Biaya Instalasi Peralatan Hidromekanik (C3)

Untuk pemasangan peralatan hidromekanik dibutuhkan biaya khusus seperti pada Persamaan 2.8.

$$C3 = C2 \times 0,15 \dots \dots \dots 2.8$$

Dimana:

C3 = estimasi biaya instalasi hidromekanik (\$kanada)

4. Biaya Trafo dan Substation (C4)

Persamaan 2.9. adalah estimasi biaya untuk pembangunan jaringan transmisi listrik.

$$C4 = \left(0.0025 \times n^{0.95} + 0.002(n + 1) \times \left(\frac{MW}{0.95} \right)^{0.9} \times V^{0.3} \right) \times 10^6 \dots \dots 2.9$$

Dimana:

C4	= estimasi biaya trafo dan substation (\$kanada)	V	= voltase jaringan transmisi (kV)
n	= jumlah turbin	MW	= kapasitas daya turbin (Megawatt)

5. Biaya Instalasi Substansi dan Trafo (C5)

Dapat dihitung estimasi biaya pada Persamaan 2.10

$$C5 = 0,14 \times C4 \dots \dots \dots 2.10$$

6. Biaya Pekerjaan Sipil

Biaya yang direncanakan dalam biaya pekerjaan sipil yang meliputi pekerjaan galian, penimbunan, pembongkaran, dan lain sebagainya, rumusnya ada pada Persamaan 2.11.

$$C6 = 1.97 \times n^{-0.04} \times C \times R \times \left(\frac{MW}{Hg^{0.3}} \right)^{0.82} \times 10^6 \dots \dots 2.11$$

Dimana:

C6	= estimasi biaya pekerjaan sipil (\$kanada)	R	= faktor batuan (1 jika terdapat batuanm, 1,05 jika tidak terdapat batuan).
C	= koefisien pekerjaan sipil		

7. Biaya Lain – lain (C7)

Untuk perencanaan pembangunan PLTMH biaya pekerjaan sipil perlu diperhitungkan, misalnya galian, timbunan, maupun pembongkaran atau yang lainnya harus diperhitungkan dengan rumus pada Persamaan 2.12.

$$C7 = 0,25 i Qd^{0,35} \times 1,1 \sum C1 \text{ to } C6 + 0,1 \sum C1 \text{ to } C6 \dots 2.12$$

Dimana:

$C7$ = estimasi biaya pekerjaan lain – lain
(\$kanada)

i = suku bunga

Q_d = debit air (m^3/det)

Kemudian hasil estimasi biaya langsung dikonversikan dari \$kanada ke dalam mata uang rupiah (IDR) adapun kurs \$kanada ke rupiah per 30 Juni 2022 adalah Rp.11.559,91. Sehingga biaya yang dapat diestimasi adalah dihitung dari jumlah keseluruhan $C1$ sampai dengan $C7$ yang di konversikan ke nilai rupiah.

2.13 Indikator Kelayakan Ekonomi

Suatu proyek dapat disebut layak jika memenuhi indikator kelayakan ekonomi yaitu perbandingan manfaat dan biaya; selisih antara manfaat dan biaya; tingkat pengembalian internal (IRR); dan *Payback Periode*.

1. Benefit Cost Ratio (BCR)

Benefit Cost Ratio (BCR) merupakan perbandingan antara nilai sekarang (*PV*) dari manfaat terhadap nilai sekarang dari biaya (*cost*) dengan perhitungan *BCR* seperti pada Persamaan 2.13.

$$BCR = \frac{PV \text{ dari manfaat}}{PV \text{ dari biaya}} \dots \dots \dots 2.13$$

Dimana:

PV = *Present value*

BCR = *Benefit Cost Ratio*

Parameter suatu kelayakan proyek dengan metode *BCR* yaitu $BCR > 1$ maka proyek dapat disebut layak dikerjakan dan apabila $BCR < 1$ proyek secara ekonomi disebut tidak layak [12].

2. Net Present Value (NPV)

Net Present Value adalah metode untuk menganalisis keuangan yang memperhatikan apakah ada perubahan nilai uang yang diakibatkan oleh faktor waktu, proyeksi arus kas dapat dinilai dari periode awal investasi melalui potongan nilai dengan faktor pengurang yang terkait dengan biaya modal.

Rumus untuk menghitung *NPV* dapat dilihat pada Persamaan 2.14.

$$NPV = PV \text{ komponen benefit} - PV \text{ komponen cost} \dots 2.14$$

Suatu proyek dapat dikatakan ekonomis dan layak dibangun PLTMH apabila *NPV* bernilai positif (+) atau $NPV > 0$ dan dinilai tidak layak apabila *NPV* bernilai negatif (-) atau $NPV < 0$.

3. Internal Rate of Return (IRR)

Internal Rate of Return (IRR) adalah nilai suku bunga yang didapatkan apabila $BCR = 1$ atau nilai suku bunga $NPV = 0$. *IRR* dihitung berdasarkan penerimaan bersih dan total keseluruhan investasi [13]. Rumus *IRR* dapat dilihat pada Persamaan 2.15.

$$IRR = I' + \frac{NPV'}{NPV' - NPV''} (I'' - I') \dots \dots \dots 2.15$$

Dimana:

I' = suku bunga memberikan nilai *NPV* positif

NPV = selisih antara *present value* dari

I'' = suku bunga memberikan nilai *NPV* negatif

manfaat dan *present value* dari biaya

NPV''' = *NPV* negatif

NPV' = *NPV* positif

4. Payback Periode

Payback periode adalah rentang waktu yang digunakan untuk membayar kembali keseluruhan biaya yang sudah dikeluarkan pada investasi proyek. Rumus perhitungan *payback periode* dapat dilihat pada Persamaan 2.16.

$$Payback \text{ Periode} = \frac{I}{A_b} \dots \dots \dots 2.16$$

Dimana:

I = besarnya biaya investasi yang diperlukan

Ab = *benefit* bersih yang dapat diperoleh pada setiap tahun

2.14 Software Water Evaluation And Planing (WEAP)

Water Evaluation and Planning (WEAP) adalah sebuah perangkat lunak yang dikembangkan oleh Institut Lingkungan Stockholm (*SEI*), Swedia yang digunakan untuk membantu mengambil keputusan untuk pengelolaan permintaan air, ketersediaan air, serta mengevaluasi perkembangan dan pengelolaan air.

3. METODE

3.1 Alat dan bahan

Alat dan bahan penelitian ditampilkan pada Tabel 3.1. dan Tabel 3.2.

Tabel 3. 1 Daftar Alat

No	Nama Alat	Fungsi
1	<i>Laptop</i>	Untuk mengolah data dan simulasi
2	<i>Google Earth</i>	Untuk menggambar path pada suatu tempat
3	<i>Global Mapper</i>	Pengolah data GIS
4	<i>Water Evaluation And Planing (WEAP)</i>	Untuk mengevaluasi daerah aliran sungai
5	<i>Microsoft Word</i>	Untuk Menyusun laporan
6	<i>Microsoft Excel</i>	Mengolah data sementara

Tabel 3. 2 Daftar Bahan

No	Nama Bahan	Sumber
1	Data curah hujan 2020 - 2022	BMKG Cilacap
2	Data debit air Saluran Doplang tahun 2017 - 2021	Balai PSDA Serayu Citanduy Purwokerto

3.2 Lokasi Penelitian

Lokasi dalam penyusunan tugas akhir ini yaitu di Sungai Anyan Saluran Doplang Jl. Tugu Utara, Sampang Selatan, Sampang, Kec. Sampang, Kabupaten Cilacap. Gambar 3.1. adalah kondisi Saluran Doplang.

3.3 Flowchart Penelitian

Untuk mengetahui diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.2.

3.4 Perhitungan Debit Andalan

Debit andalan merupakan debit minimum yang mendukung keamanan operasional suatu bangunan air. Debit andalan dapat dihitung menggunakan persamaan Weibul seperti pada Persamaan 3.1.

$$P_w = \frac{m}{n + 1} \times 100\% \dots \dots \dots 3.1$$

Dimana:

Pw = probabilitas %

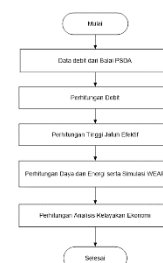
n = jumlah data

m = data ke-n

Debit andalan yang dipakai pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) umumnya adalah 80% - 90%.



Gambar 3.1. Saluran Doplang



Gambar 3.2. Flowchart Penelitian

3.5 Menentukan Tinggi Jatuh Efektif

Tinggi jatuh efektif merupakan tinggi jatuh yang digunakan untuk membangkitkan daya. Rumus pada Persamaan 3.2.

$$H_{eff} = H_{bruto} - H_{losses} \dots \dots \dots 3.2$$

Dimana:

H_{eff} = tinggi jatuh efektif (m)

H_{losses} = tinggi jatuh air akibat
kehilangan energi (m)

H_{bruto} = perbedaan tinggi muka air hulu dan
hilir (m)

3.6 Pemilihan Turbin

Dalam penentuan jenis turbin yang akan dipakai untuk pembangkit tenaga mikro hidro, didasarkan pada tinggi jatuhnya air (*head*) saluran air. Untuk saluran yang memiliki head tinggi biasanya menggunakan jenis turbin impuls, sedangkan pada saluran yang memiliki head rendah akan lebih efisien menggunakan jenis turbin reaksi. Salah satu contoh turbin reaksi yaitu turbin Propeller yang cocok untuk *head* rendah serta memiliki efisiensi yang cukup tinggi.

3.7 Perhitungan Daya Manual

Daya teoritis:

$$P_{desain} = 9,81 \times Q \times H_{eff} \dots \dots \dots 3.3$$

Daya turbin:

$$P_{turbin} = 9,81 \times \eta_t \times Q \times H_{eff} \dots \dots \dots 3.4$$

Daya generator:

$$P_{generator} = 9,81 \times \eta_g \times \eta_t \times Q \times H_{eff} \dots \dots \dots 3.5$$

Dimana:

P = daya (kW)

η_g = efisiensi generator

η_t = efisiensi turbin (80 – 90%)

Q = debit (m^3/det)

3.8 Perhitungan Daya Dengan Simulasi WEAP

Input semua data debit dan tinggi efektif ke dalam *software WEAP*.

3.9 Perhitungan Energi Tahunan

Perhitungan produksi energi tahunan dilakukan dengan cara menghitung daya yang dihasilkan pertahun dalam waktu satu tahun seperti Persamaan 3.6.

$$E = P \times t \times n \dots \dots \dots 3.6$$

Dimana:

P = daya (kW)

t = jumlah jam sehari

n = jumlah hari perbulan

Perhitungan Analisis Kelayakan Ekonomi berdasarkan perhitungan analisis kelayakan ekonomi pada pada untuk perhitungan Biaya *Engineering* (Persamaan 2.5), Biaya Peralatan Hidromekanika (Persamaan 2.6), Biaya Instalasi Peralatan Hidromekanik (Persamaan 2.7), Biaya Trafo dan ubstation (Persamaan 2.8), Biaya Pemasangan Trafo dan *Substation* (Persamaan 2.9), Biaya Pekerjaan Sipil (Persamaan 2.10), Biaya Lain – lain (Persamaan 2.11),. Perhitungan Manfaat(*Benefit*) adalah Nilai manfaat pada studi ini berdasarkan atas harga jual listrik yang diterbitkan oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN) sebesar Rp. 1.444,7 per kWh pada bulan Mei 2022. Rumus manfaat dihitung dengan Persamaan 3.7.

$$Benefit PLTMH = produksi energi tahunan \times harga jual listrik \dots 3.7$$

1. Present Value (PV)

Suku bunga yang berlaku saat ini menurut Bank Indonesia tahun 2022 adalah sebesar 3,5%.

Indikator Kelayakan Ekonomi

Indikator kelayakan ekonomi meliputi *Benefit Cost Ratio (BCR)*, *Net Present Value (NPV)*, *Internal Rate of Return (IRR)*, dan *Payback Periode*. Rumus dapat dilihat pada Persamaan 2.12. sampai dengan Persamaan 2.15. Bagian ini membahas teori dasar dari penelitian. Jika terdapat rumus maka menggunakan equation dengan size 10 Times New Roman

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 4.1. adalah grafik data debit air pada Saluran Doplang tahun 2017 – 2021. Berdasarkan Gambar 4.1. menunjukkan bahwa PLTMH dapat dioperasikan selama 10 bulan dikarenakan pada bulan Juli dan Agustus adalah kondisi saat sistem berhenti beroperasi secara teoritis atau *off* yang disebabkan oleh rendahnya debit air.

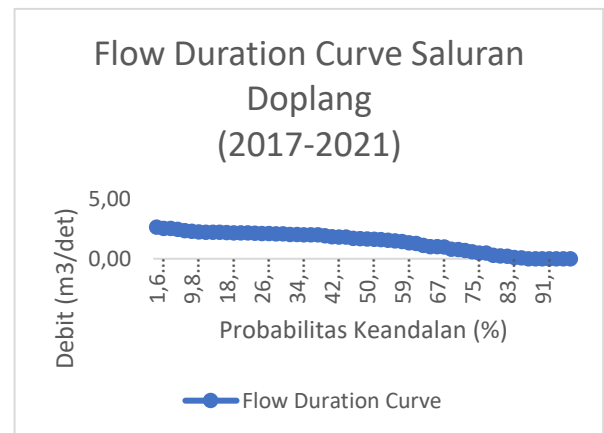
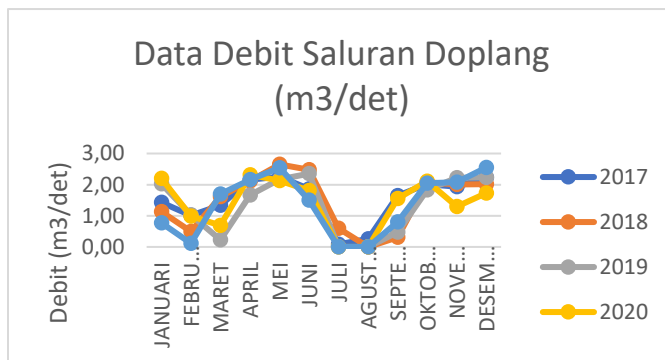
4.1 Analisis Debit Andalan

Debit andalan untuk PLTMH adalah 80% - 90%, sehingga debit yang digunakan untuk desain bangunan adalah debit 80% yaitu 0,31 m³/det (dapat dilihat pada Gambar 4.2.)

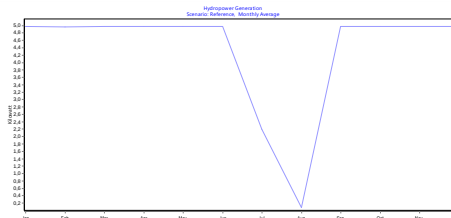
Tinggi Jatuh Efektif = 1,8 m.

Daya Manual = 4,483 kW

Jadi, daya listrik yang mampu dihasilkan dari perencanaan PLTMH pada Saluran Doplang adalah sebesar 4,483 kW.



Gambar 4.1. Grafik Debit Saluran Doplang Gambar 4.2. Grafik FDC Probabilitas Debit Andalan



Gambar 4.3. Grafik Hasil Simulasi WEAP

4.2 Analisis Perhitungan Daya Simulasi WEAP

Berdasarkan hasil simulasi WEAP didapat hasil pada Gambar 4.3. Berdasarkan hasil simulasi WEAP didapatkan daya listrik rata – rata yang dapat dibangkitkan adalah sebesar 4,3583 kW, sedangkan pada perhitungan manual didapatkan daya sebesar 4,483 kW. Maka selisih antara perhitungan manual dan simulasi dengan software WEAP adalah sebesar 0,124 kW. Tetapi yang dipakai dalam penelitian ini adalah hasil dari perhitungan manual karena perhitungan berikutnya dilakukan secara manual tanpa bantuan *software*. Jumlah produksi energi pada Saluran Doplang dalam waktu 1 tahun adalah sebesar 39271,08 kWh.

**Tabel 4.1. Rincian Biaya Perencanaan
PLTMH Saluran Doplant**

No.	Komponen	Biaya (Rupiah)
1	Biaya <i>Engineering</i>	Rp. 210.153.578,00
2	Biaya Elektromekanikal	Rp. 83.600.208,96
3	Instalasi Biaya Elektromekanikal	Rp12.540.031,34
4	Biaya Substansi dan Transformer	Rp1.212.852,05
5	Biaya Instalasi Trafo dan Substansi	Rp. 181.927,81
6	Biaya Pekerjaan Sipil	Rp. 246.290.240,70
7	Biaya Lain – lain	Rp. 3.860.637,88
Total		Rp. 557.839.476,74
PPN 10%		Rp. 55.783.947,67
Biaya Total		Rp. 613.623.424,41

Tabel 4.2. PV Biaya Keseluruhan

Uraian	Biaya (Rp)	Faktor Konversi	Biaya Sekarang (Rp)
Modal	Rp. 245.449.369,77	1,035	Rp. 254.040.097,71
O&P	Rp. 6.136.234,24	11,5174	Rp. 70.673.531,10
Cicilan	Rp. 368.174.054,65	1,1876	Rp. 437.275.282,93
Total Biaya			Rp. 761.988.911,74

4.3 Analisa Kelayakan Ekonomi

Nilai mata uang dollar Kanada terhadap nilai tukar mata uang rupiah sebesar Rp. 11.559,91 per 30 Juni 2022. Hasil semua perhitungan biaya **ditunjukkan** dalam bentuk tabel seperti pada Tabel 4.1.

Berdasarkan hasil keseluruhan perhitungan, dapat direkapitulasi pengeluaran seperti pada Tabel 4.2. Berdasarkan hasil analisis data dan perhitungan didapatkan:

- Berdasarkan hasil perhitungan debit selama 5 tahun (2017 sampai 2021) yang bersumber dari Balai PSDA Serayu Citanduy Purwokerto serta menggunakan rumus persamaan Weibull seperti pada Persamaan 3.2, Saluran Doplant memiliki debit andalan sebesar 0,31 m³/det.
- Tinggi jatuh air efektif (Heff) pada Saluran Doplant adalah setinggi 1,8 meter.
- Potensi daya yang dapat dihasilkan pada Perencanaan PLTMH Saluran Doplant adalah sebesar 4,483 kW dan produksi energi sebesar 39271,08 kWh dengan pemilihan turbin jenis Propeller. Maka secara teori Perencanaan PLTMH Saluran Doplant tidak layak untuk dibangun sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro yang mana kapasitasnya kurang dari 5 kWatt, sedangkan kapasitas daya sebuah PLTMH yaitu 5 kW – 100 kW. Hal ini dipengaruhi oleh rendahnya debit air dan *head* pada wilayah perencanaan pembangkit ini yang menyebabkan kecilnya potensi daya listrik yang dapat dibangkitkan.
- Berdasarkan hasil analisa ekonomi pada perencanaan PLTMH Saluran Doplant tidak layak untuk dibangun. Hal ini berkaitan dengan hasil analisis wilayah Saluran Doplant yang memiliki tinggi jatuhnya air efisien 1,8 meter serta nilai debit andalannya yang kecil sehingga daya yang dihasilkan juga rendah. Semakin besar daya yang dapat dibangkitkan maka semakin besar pula produksi energi tahunan yang dihasilkan. Produksi energi tahunan digunakan untuk menghitung benefit PLTMH seperti analisis pada hasil Persamaan 4.12. Jika energi tahunan yang didapatkan kecil maka benefit PLTMH juga kecil, yang mana akan berdampak pada nilai indikator kelayakan ekonomi yang meliputi *Benefit Cost Ratio (BCR)*, *Net Present Value (NPV)*, *Internal Rate of Return (IRR)*, dan *Payback Periode*.

Berikut ini rincian nilai dari metode analisis kelayakan ekonomi:

- $BCR = 0,86$, $BCR < 1$, maka secara analisa ekonomi tidak layak.
- Besar nilai *Net Present Value (NPV)* adalah -Rp. 108.549.299,70, $NPV < 0$, maka tidak layak.
- Besar nilai *Internal Rate of Return (IRR)* pada PLTMH Saluran Doplant yaitu berada pada suku bunga 1,71% sedangkan suku bunga yang dipakai pada perhitungan adalah 3,5%, maka secara ekonomi tidak layak. Waktu *Payback Periode* adalah 17,5 tahun.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang sudah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Debit andalan (Q) Saluran Dopleng yaitu $0,31 \text{ m}^3/\text{det}$ dengan perhitungan data selama 5 tahun (tahun 2017 – 2021).
2. Tinggi jatuh efektif air yang didapatkan berdasarkan hasil perhitungan adalah 1,8 meter.
3. Potensi daya yang dapat dihasilkan pada perencanaan PLTMH Saluran Dopleng adalah sebesar 4,483 kW dan produksi energi sebesar 39271,08 kWh dengan pemilihan turbin jenis Propeller.
4. Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa ekonomi PLTMH Saluran Dopleng tidak layak untuk dibangun karena tidak memenuhi indikator kelayakan ekonomi yang berlaku yaitu: nilai *Benefit Cost Ratio (BCR)* adalah 0,86, nilai *Net Present Value (NPV)* adalah -Rp. 108.549.299,70, nilai *Internal Rate of Return (IRR)* adalah 1,71%, dan waktu *Payback Periode* adalah 17,5 tahun.

6. DAFTAR PUSTAKA

- M. Ahsan, “Tantangan dan Peluang Pembangunan Proyek Pembangkit Listrik Energi Baru Terbarukan (EBT) di Indonesia,” *Sutet*, vol. 11, no. 2, pp. 81–93, 2021, doi: 10.33322/sutet.v11i2.1575.
- F. Jurnal, T. Mesin, W. Martiningsih, and A. Bahtiar, “Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Sungai Ciliman Kabupaten Pandeglang,” vol. V, no. 1, pp. 113–119, 2019.
- M. Sitanggang, J. Simanjuntak, F. Simanungkalit, and A. P. Pembangkitan, “Suatu Simulasi Perubahan Debit Air terhadap Kapasitas Daya, Putaran, Frekwensi dan Tegangan Output Suatu PLTMH,” *Citra Sains Teknol.*, vol. 1, no. 2, pp. 71–75, 2022.
- A. N. Azhiimah, S. Muslim, and K. Khusnul, “Kajian Kritis Terhadap Beberapa Studi Kelayakan Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pltmh) Di Indonesia,” *Rang Tek. J.*, vol. 2, no. 2, pp. 337–347, 2019.
- A. Sugiharto, “PLTMH Sebagai Alternatif Pembangkit Listrik Ramah Lingkungan,” *Swara Patra*, E-Jurnal PPSDM Migas, Kementerian. ESDM RI, vol. 8 (1), pp. 107–118, 2018, [Online]. Available: <http://ejurnal.ppsdmmigas.esdm.go.id/sp/index.php/swarapatra/article/view/21>.
- N. Augustone and P. Pamungkas, “Potensi Perencanaan Aliran Air Bendungan Sei Gong Sebagai Sumber Energi Terbarukan Melalui PLTMH,” *J. Civ. Eng. Plan.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2020.
- A. Syahputra and B. Arifitama, “Pengembangan Alat Peraga Edukasi Proses Siklus Air (Hidrologi) Menggunakan Teknologi Augmented Reality,” *Semin. Nas. Teknol. Inf. dan Multimed.* 2018, p. 1, 2018.
- T. W. Sudinda, “Penentuan Debit Andalan Dengan Metoda Fj Mock Di Daerah Aliran Sungai Cisadane,” *J. Air Indones.*, vol. 11, no. 1, pp. 15–24, 2020, doi: 10.29122/jai.v11i1.3933.
- H. Ujang, “Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pltmh) Pada Daerah Aliran Sungai Ongkak Mongondow Di Desa Muntoi Kabupaten Bolaang Mongondow,” *J. energi*, vol. 16, no. 2, pp. 160–171, 2007.
- R. B. Astro and Y. D. Ngapa, “Analisis Potensi Air Terjun Ngamba Mbu’u Kabupaten Ende Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro,” *Pendidik. Fis. Tadulako Online*, vol. 8, no. 2, pp. 79–83, 2020.
- Y. Suryo Setyo Putro, P. Tri Juwono, and P. Hadi Wicaksono, “Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Di Sungai Atei Desa Tumbang Atei Kecamatan Sanamang,” vol. 1, pp. 1–11, 2014.
- nur fajar Apriliasari and H. Widyastuti, “Analisis Kelayakan Ekonomi dan Finansial,” vol. 8, no. 1, 2019.
- Z. Adil, “Perhitungan Biaya Irigasi Air Tanah Menggunakan Mesin Generator Set Dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya,” *Osf.io*, [Online]. Available: <https://osf.io/preprints/inarxiv/9dj4k/%0Ahttps://osf.io/preprints/inarxiv/9dj4k/download>.