

PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MINIHIDRO (PLTM) PADA KRUENG MEUREUDU DESA LHOKSANDENG

Syibril Milasi¹, Fauzan², Teuku Zulfadli³

^{1,2,3} Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi
Teknik Elektro, Politeknik Negeri Lhokseumawe

Email: syibralmilasi10@gmail.com, fauzan@pnl.ac.id, teukuzulfadli@pnl.ac.id

Abstrak –Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) merupakan solusi alternatif dalam mengatasi kekurangan pasokan energi listrik, terutama di daerah-daerah terpencil. Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan sebuah pembangkit energi listrik dengan memanfaatkan potensi air dari krueng Meureudu di desa Lhoksandeng, dengan harapan dapat membantu memenuhi kebutuhan listrik masyarakat sekitarnya. Rencana ini mencakup analisis potensi daya dan energi listrik, perencanaan struktur fisik PLTM, serta evaluasi kelayakan ekonomi. Dari hasil analisis perhitungan menunjukkan bahwa debit andalan untuk PLTM adalah sebesar 7,92 m³/detik, dengan tinggi jatuh yang direncanakan sebesar 5 m setelah mempertimbangkan kehilangan energi, didapatkan head efektif untuk PLTM sebesar 4,65 m. Dengan parameter ini, daya hidrolis 361.283 kW dan daya output turbin sebesar 258.898 kW, menghasilkan total energi listrik sebesar 1.395.692 kWh per tahun dan turbin yang digunakan yaitu turbin crossflow dengan daya generator 227.608 kW. Dalam analisis ekonomi, biaya pembangunan PLTMH diperkirakan mencapai 13.436.550.000, lebih lanjut analisis kelayakan ekonomi dilakukan melalui tiga metode, yaitu Net Present Value (NPV), Benefit-Cost Ratio (BCR), dan Payback Period (PP). Hasil dari analisis ini menunjukkan bahwa PLTM ini layak untuk direalisasikan, dengan nilai positif dari semua metode evaluasi kelayakan. Dengan demikian, rencana pembangunan PLTM ini diharapkan dapat memberikan manfaat yang signifikan bagi masyarakat setempat dan dapat menjadi kontribusi penting dalam memenuhi kebutuhan energi listrik di daerah tersebut.

Kata-kata kunci : PLTM, Turbin, Generator, Investasi, Kelayakan Ekonomi

I. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) merupakan alternatif sumber energi listrik bagi masyarakat. PLTM memberikan banyak keuntungan terutama bagi masyarakat pedalaman di seluruh Indonesia. Di saat sumber energi lain mulai menipis dan memberikan dampak negatif, maka air menjadi sumber energi yang sangat penting karena dapat dijadikan sumber energi pembangkit listrik yang murah dan tidak menimbulkan polusi.[1]

Masyarakat Desa Lhoksandeng mayoritas menggantungkan hidup dari sektor pertanian, baik di bidang pertanian sawah maupun kebun. Energi listrik menjadi kebutuhan penting dalam aktivitas bertani, termasuk penyiraman tanaman dan penerangan. Namun, menggunakan daya listrik dari PLN terbukti mahal karena biaya pemasangan dan bulanan yang tinggi, terutama karena desa ini terletak di pedalaman. Maka dari itu, solusi pemanfaatan energi listrik menjadi krusial. Potensi aliran sungai yang mengalir melalui desa ini menawarkan peluang untuk mengembangkan pembangkit listrik tenaga air minihidro. Teknologi ini dapat digunakan untuk memompa air ke lahan pertanian dan memberikan penerangan tanpa memerlukan biaya besar. Pendirian Pembangkit Listrik Tenaga Air Minihidro (PLTM) ini dapat meringankan beban biaya listrik masyarakat, sambil juga berfungsi sebagai sumber cadangan energi sehari-hari, khususnya bagi petani kebun yang belum terjangkau distribusi listrik secara luas.

Oleh karena itu, pada PLTM pada sungai Meurudu Desa Lhoksandeng perlu dilakukan analisis dan menghitung daya listrik yang dihasilkan PLTM sungai ini. Perencanaan yang akan dilakukan meliputi potensi air sungai pada sungai Meurudu Desa Lhoksandeng menjadi energi listrik, selain potensi akan direncanakan juga perencanaan design PLTM. Hal ini menjadi indikator dilakukannya penelitian yang berjudul “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) Pada Krueng Meureudu Desa Lhoksandeng”.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM)

Pembangkit, listrik tenaga minihidro merupakan, salah satu jenis dari pembangkit listrik tenaga air (PLTA). Ada 6 (enam) jenis pembangkit, listrik tenaga air, yaitu piko hidro; mikro hidro; mini hidro; PLTA skala kecil; PLTA, skala sedang; PLTA, skala besar. Masing-masing, kategori, memiliki, kapasitas, daya, berikut dijabarkan pada Tabel 1.[1]

TABEL I
Kategori PLTA

Kategori PLTA	Kemampuan Produksi Listrik
PLTA skala besar	> 100 Mega watt
PLTA skala sedang	15 – 100 Mega watt
PLTA skala kecil	1 – 15 Mega watt
Mini hidro	0,1 – 1 Mega watt
Mikro hidro	0,05 – 0,1 Mega watt
Piko hidro	< 0,05 Mega watt

Berdasarkan tabel 1, dapat diketahui bahwa minihidro adalah salah satu jenis PLTA dengan produksi listrik berkisar 0,1-1 Mega watt (5 Kilo watt – 100 Kilo watt). Lebih tepatnya, PLTM adalah sistem pembangkitan listrik dari tenaga air yang kecil (Davis, 2013:1). Walaupun kecil, tenaga air secara kontinu menjadi memuaskan dan hemat biaya dalam menghasilkan listrik secara terbarukan (renewable).[1]

Secara garis besar, tidak ada perbedaan komponen yang digunakan pada PLTM dan kategori PLTA lainnya. Seandainya terdapat perbedaan, hal ini terletak pada ukurannya. Sebagai contoh, turbin yang digunakan pada PLTM memiliki ukuran lebih kecil ketimbang ukuran turbin pada kategori PLTA yang lebih besar.[1], [2]

B. Debit Air

Terdapat banyak metode pengukuran debit air. Sistem konversi energi air skala besar pengukuran debit dapat berlangsung bertahun-tahun. Sedangkan untuk sistem konversi energi air skala kecil waktu pengukuran dapat lebih pendek, misalnya untuk beberapa musim yang berbeda saja.[1], [3], [4]

C. Perancangan Intake

Bangunan ambil air, atau lebih dikenal dengan intake building, adalah fasilitas yang dipakai untuk mengambil air langsung dari sungai atau dari tempat penyimpanan (waduk) ke dalam saluran air (Arismunandar et al, 1974: 36). Mengacu pada pengertian tersebut, intake berperan sebagai penyalur air di bagian awal PLTM. Air ini akan disalurkan menuju saluran penstock, seperti yang dikemukakan oleh Davis, setiap sistem mikrohidro mempunyai intake, tempat air mengalir menuju penstock dari sumber alami.[1]

Ukuran intake perlu disesuaikan dengan besaran debit sungai yang dimanfaatkan menjadi pembangkit listrik. Secara jelasnya dinyatakan seperti Persamaan (1).[1]

$$\text{Ukuran Intake} = 90\% \times D_{th} \times \ell \tag{1}$$

Keterangan :

- D_{th} = Kedalaman sungai (m)
- ℓ = Lebar sungai (m)

Selanjutnya untuk menentukan tinggi bukaan pada intake dengan menggunakan kecepatan aliran rencana sebesar 1 m/s agar mendapatkan kehilangan tinggi energi (z) dan berdasarkan debit sungai $Q_{90\%}$ menggunakan Persamaan (2) dan (3).[5]

$$Q = \mu \times b \times a \sqrt{(2 \cdot g \cdot z)} \tag{2}$$

$$V = 0.8\sqrt{(2.9.81 \cdot z)} \tag{3}$$

Keterangan :

- Q = Debit air (m³/s)
- μ = Koefisien debit (0.8)
- g = Gaya gravitasi (9.81m/s²)
- z = Kehilangan energi (m)
- a = Tinggi (m)
- b = Lebar (m)

D. Saluran Pembawa (Head Race)

Fungsi utama dari saluran pembawa adalah untuk mengalirkan air dari titik pengambilan (intake) ke bak penenang. Dalam perencanaannya, saluran ini dirancang sebagai saluran pasangan yang dibangun menggunakan batu kali sebagai materi konstruksinya. Penampang yang umum digunakan untuk saluran ini biasanya berbentuk persegi panjang atau trapesium. Untuk menentukan ukuran saluran pembawa menggunakan Persamaan (4) dan (5).[5]

$$Q = \left(\frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}\right) (b \times h) \tag{4}$$

$$Q = V \times A \tag{5}$$

Keterangan :

- Q = Debit air (m³/s)
- n = Koefisien manning (0.015)
- V = Kecepatan aliran rencana (1 m/s)
- R = Jari-jari hidraulik (m)
- S = Kemiringan saluran
- A = Luas penampang (bxh) (m)
- b = Lebar saluran (2h)
- h = Kedalaman muka air (m)

E. Bak Penenang

Bak penenang berfungsi untuk mengontrol debit air dalam pipa pesat pada saat terjadi fluktuasi beban, menenangkan aliran air sebelum masuk ke dalam pipa pesat, selain itu juga sebagai penyaringan terakhir sampah dan endapan partikel padat agar tidak masuk ke dalam turbin.[1], [5]

Dimensi bak penenang dapat dihitung secara cermat untuk memastikan kinerja yang optimal dan mencegah kerusakan pada turbin. Dimensi bak penenang dengan bentuk segiempat dapat ditentukan melalui Persamaan (6).[6]

$$B = 3b \text{ dan } L = 2.5B \tag{6}$$

Keterangan :

- B = Lebar bak penenang (m)
- b = Lebar saluran pembawa (m)
- L = Panjang bak penenang (m)

Untuk menghitung kedalaman air pada bak penenang yang arah alirannya tegak lurus dengan arah aliran pipa pesat dapat menggunakan persamaan (7) dan (8).[6]

$$n = S + D \tag{7}$$

$$S = 0.54 \cdot v \cdot D^{0.5} \tag{8}$$

Keterangan :

n	=	Kedalaman bak penenang	(m)
S	=	Kealaman air atas pipa	(m)
v	=	Kecepatan air pipa pesat	(m)
D	=	Diameter pipa pesat	(m)

F. Pipa Pesat (*Penstock*)

Pipa penstock terbuat dari baja, batang kayu, polyethylene padat, PVC, atau serat kaca dengan membawa air bertekanan menuju rumah daya.[5], [7]

Untuk menentukan diameter penstock terdapat pada Persamaan (9).[7]

$$De = 0,72 Q^{0,5} \quad (9)$$

Keterangan :

De	=	Diameter penstock	(m)
Q	=	Debit air	(m ³ /s)

Untuk menentukan ketebalan pipa pesat menggunakan Persamaan 2.10.[7]

$$T_{\min} = \frac{D+20}{400} \quad (10)$$

Keterangan :

T_{\min}	=	Tebal minimum pipa	(Inch)
D	=	Diameter penstock	(m)

G. Bangunan Sentral

Bangunan sentral, atau bisa juga disebut stasiun tenaga air dan powerhouse merupakan bagian dari PLTM secara keseluruhan. Bangunan sentral adalah nama umum bagi fasilitas yang berisikan turbin air, generator, dan mesin-mesin pembantu lainnya.[6]

H. Saluran Pembuangan (*Tailrace*)

Saluran pembuangan berfungsi untuk mengalirkan debit air yang keluar dari turbin air, kemudian dibuang ke saluran irigasi. Untuk memastikan kelancaran aliran, dimensi saluran pembuangan harus setidaknya sama besar atau lebih besar daripada saluran pemasukan. Ini sangat penting mengingat kemungkinan adanya perubahan mendadak pada debit air dari turbin. Oleh karena itu, direncanakan dimensi saluran pembuangan sama dengan saluran pembawa (*headrace*).[5]

I. *Head Losses Penstock* dan *Head Effective*

Head losses dalam penstock adalah kehilangan energi atau tekanan yang terjadi saat aliran air melalui saluran penstock. Faktor-faktor seperti gesekan dinding, gesekan lapisan batas, perubahan arah aliran, perubahan luas penampang, dan perubahan tinggi penstock menyebabkan pengurangan energi dan tekanan.[8], [9]

Head losses terbagi menjadi dua jenis, yaitu head losses major dan head losses minor. Head losses secara keseluruhan merupakan hasil penjumlahan dari head losses major dan head losses minor, seperti yang ditunjukkan dalam Persamaan (11).[10], [11]

$$H_t = H_L \text{ Major} + H_L \text{ Minor} \quad (11)$$

Keterangan :

H_t	=	<i>Head losses total</i>	(m)
$H_L \text{ Major}$	=	<i>Head losses major</i>	(m)
$H_L \text{ Minor}$	=	<i>Head losses minor</i>	(m)

Head Losses Major adalah jumlah rugi energi yang disebabkan oleh gesekan fluida terhadap kekasaran permukaan bahan pipa. Untuk menghitung *Head Losses Major* terdapat pada Persamaan (12).[12]

$$H_f = f \frac{L v^2}{D 2g} \quad (12)$$

Keterangan :

f	=	Koefisien gesekan	
L	=	Panjang pipa	(m)
D	=	Diameter pipa	(m)
V	=	Kecepatan rata-rata fluida	(m/s)
g	=	Percepatan gravitasi	(m/s ²)

Faktor-faktor yang menyebabkan *Head Losses Minor* meliputi perubahan arah aliran (seperti tikungan atau belokan), perubahan luas penampang (*expansions* dan *contractions*), efek viskositas lapisan batas, dan perubahan tinggi (elevasi) dalam *penstock*. Untuk menghitung *head losses minor* terdapat pada Persamaan (13).

$$H_e = K_e \frac{v^2}{2g} \quad (13)$$

Keterangan :

H_e	=	Kehilangan energi	(m)
K_e	=	Koefisien mulut pipa	
v	=	Kecepatan air	(m/s)
g	=	Percepatan gravitasi	(m/s ²)

Untuk menghitung tinggi jatuh efektif mendapat menggunakan Persamaan (14).

$$H_{\text{eff}} = H_{\text{bruto}} - (H_f + H_e) \quad (14)$$

Keterangan :

H_e	=	<i>Losses minor</i>	(m)
H_f	=	<i>Losses major</i>	(m)
H_{bruto}	=	Tinggi jatuh	(m/s)
H_{eff}	=	Tinggi jatuh efektif	(m/s ²)

J. Turbin

Turbin hidrolik, atau bisa juga disebut turbin air, digerakan oleh energi kinetik air (Pudjanarsa et al, 2008: 154). Turbin air dapat dikategorikan berdasarkan ketinggian air yang hendak dikonversi menjadi energi. Kategori yang dimaksud adalah turbin air untuk ketinggian kecil untuk dibawah 10 meter, ketinggian menengah untuk diatas 10 meter dan di bawah 50 meter, dan ketinggian besar diatas 100 meter.[13]

Turbin crossflow merupakan jenis turbin yang direkomendasikan karena dapat didesain serta dibuat secara lokal berkat perencanaan paripurna dari turbin crossflow bisa diperoleh melalui pengujian sederhana dan biaya rendah Turbin crossflow merupakan turbin impuls dengan tipe aliran radial.[11]

Pemilihan jenis turbin dapat diperhitungkan dengan mempertimbangkan parameter-parameter khusus yang mempengaruhi sistem operasi turbin, yaitu sebagai berikut.

1. Berdasarkan Kecepatan Spesifik (N_s)

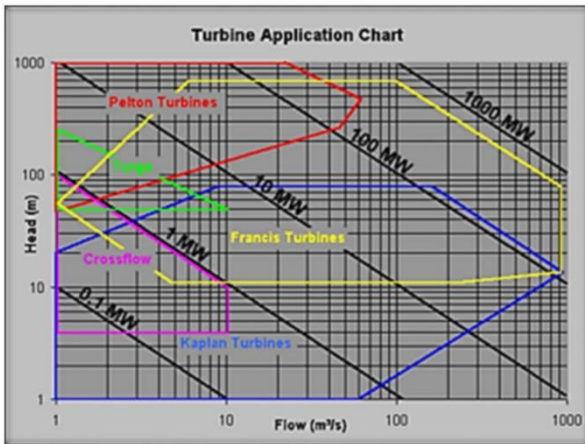
Untuk menentukan kecepatan spesifik menggunakan Persamaan (15).

$$N = \frac{N_s H_{\text{efs}}^{1,25}}{\sqrt{P}} \quad (15)$$

- Keterangan :
- N_s = Kecepatan spesifik turbin (rpm)
 - N = Kecepatan putaran turbin (rpm)
 - H_{efs} = Tinggi jatuh efektif (m)
 - P = Daya output turbin (kW)

2. Berdasarkan head dan debit

Untuk menentukan penggunaan jenis turbin berdasarkan head dan debit air andalan dapat dilihat pada Gbr.1.



Gbr.1 Diagram Pemilihan Jenis Turbin Air

Bagian turbin yang ditentukan melalui rumus adalah panjang turbin turbin, diameter shaft, diameter pitch circle, putaran turbin, jumlah pisau turbin, ketebalan pisau turbin, dan jarak antara pisau turbin. Sedangkan, untuk nilai diameter turbin ditetapkan sebesar 11.81 inchi.[1]

Untuk menentukan ukuran panjang turbin adalah seperti Persamaan (16).

$$L = \frac{144 \times Q}{C \times K \times D \times \sqrt{2gh}} \tag{23}$$

- Keterangan :
- D = Diameter turbin (inch)
 - Q = Debit air (cf/s)
 - h = Tinggi jatuh efektif (ft)
 - C = Koefisien nosel (0.98)
 - K = Konstanta proporsionalitas (0.875)
 - g = Gravitasi (32.15 ft/s²)
 - L = Panjang turbin (inch)

Untuk diameter shaft, dan diameter pitch circle, formulasi yang digunakan mengacu pada Khan pada Persamaan (17) dan (18).[1]

$$D_s = 0.22 \times D$$

$$D_p = 0.7532 \times D$$

- Keterangan :
- D_s = Diameter shaft (inch)
 - D = Diameter turbin (m)
 - D_p = Diameter pitch circle (inch)

Selanjutnya, dalam menghitung kecepatan putar turbin, ketebalan pisau turbin, jarak antara pisau turbin, dan jumlah pisau turbin kembali menggunakan Persamaan (19), (20), (21) dan (22).[1]

$$N = \left(\frac{862 \times H^{\frac{1}{2}}}{D} \right)$$

$$t = k \times D \tag{20}$$

$$S = \frac{t}{\sin \beta} \tag{21}$$

$$n = \frac{\pi \times D}{S} \tag{22}$$

- Keterangan :
- N = Kecepatan putar turbin (rpm)
 - D = Diameter turbin (inch)
 - h = Tinggi jatuh air (ft)
 - t = Ketebalan trubin (inch)
 - k = Konst proporsionalitas (0.875)
 - S = Jarak antar pisau (inch)
 - T = Ketebalan pisau turbin (inch)
 - β = Sudu masuk air ke turbin (30°)
 - n = Jumlah pisau turbin (bilah)
 - π = 3.14

Daya yang diinginkan berkaitan dengan head dan debit yang tersedia. Untuk menentukan daya air (P) menggunakan Persamaan (23)

$$P = \rho \times g \times Q \times H \tag{23}$$

- Keterangan :
- P = Daya (Watt)
 - g = Percepatan gravitasi (9,8 m²/dt)
 - Q = Debit air (m³/dt)
 - H_{efs} = Tinggi jatuh efektif (m)

Untuk memperhitungkan daya output trubin dengan efisiensi 70 %, maka dapat dihitung menggunakan Persamaan (24).[14]

$$P_{turbin} = P \times \eta_{turbin} \tag{24}$$

- Keterangan :
- P_{turbin} = Daya trubin (kW)
 - P = Daya air (kW)
 - η_{turbin} = Efisiensi trubin (70%)

K. Generator

Generator berfungsi untuk merubah energi mekanis menjadi energi listrik. Energi mekanis diperoleh dari putaran rotor yang digerakkan oleh penggerak mula (prime mover), sedangkan energi listrik diperoleh dari proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan stator dan rotornya. Secara umum generator terdiri stator dan rotor. Daya pembangkitan generator jika efisiensi generator (η_{Gen}) dengan dapat dinyatakan dengan menggunakan Persamaan (25).[14], [15]

$$P_{gen} = P_{turbin} \times \eta_{Gen} \tag{25}$$

- Keterangan :
- P_{turbin} = Daya trubin (kW)
 - η_{Gen} = Efisiensi generator (90%)

L. Pulley

Pulley merukapan bagian dari penggerak sabuk (belt drives). Pulley merupakan komponen mekanik berbentuk bulat sebanyak dua buah yang terhubung melalui sebuah sabuk demi menghubungkan motor atau sumber gerakan dengan beban. Keterhubungan sumber gerakan dengan beban bertujuan mengirimkan gerakan dengan nilai torsi tertentu. Untuk mengetahui besarnya diameter pulley yang dibutuhkan terdapat pada Persamaan (26), dan (27).[1]

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{D_2}{D_1} \quad (26)$$

$$D_2 = \frac{D_1 \times \omega_2}{\omega_1} \quad (27)$$

Keterangan :

D_1	=	Diameter pulley turbin	(inch)
D_2	=	Diameter pulley generator	(90%)
ω_1	=	Kecepatan putar turbin	(rpm)
ω_2	=	Kecepatan putar generator	(rpm)

M. Kelayakan Ekonomi/Finansial

Kelayakan ekonomi finansial menjadi salah satu faktor krusial dalam menentukan keberlanjutan suatu proyek. Penggunaan parameter kelayakan ini bertujuan untuk mengestimasi potensi keuntungan atau kerugian yang dapat timbul dari pelaksanaan proyek tersebut. Parameter yang digunakan untuk menebuhkan kelayakan ekonomi PLTM menggunakan 3 metode yaitu Net Present Value (NPV), Benefit Cost Ratio (BCR), dan Payback Period (PP).[16], [17]

N. Net Present Value (NPV)

Metode NPV digunakan untuk menghitung analisis kelayakan ekonomi suatu proyek. NPV mengacu pada selisih antara manfaat (penerimaan), biaya (pengeluaran), biaya operasional dan maintenance 2% dari investasi dan pajak air permukaan sebesar Rp. 50;- per kWh yang berlaku di Indonesia. Jika NPV memiliki nilai positif, maka proyek tersebut dianggap layak. Untuk menentukan NPV menggunakan Persamaan (28), (29), (30) dan (31).[18]

$$\text{Suku bunga NPV} = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (28)$$

$$\text{Benefit} = \text{hasil penjualan listrik} \quad (29)$$

$$\text{Cost} = I \times \text{suku bunga NPV} \quad (30)$$

$$\text{NPV} = \Sigma B - \Sigma C \quad (31)$$

Keterangan :

i	=	Suku bunga per tahun	(%)
n	=	Umur ekonomis	(tahun)
I	=	Investasi awal	
ΣB	=	Jumlah <i>benefit</i> selama n	
ΣC	=	Jumlah <i>cost</i> selama n	

O. Benefit Cost Ratio (BCR)

BCR adalah hasil perbandingan dari benefit dan cost. Jika BCR lebih dari 1, maka suatu proyek dapat dianggap layak. Untuk menentukan BCR menggunakan Persamaan (32).[5]

$$\text{BCR} = \frac{\Sigma B}{\Sigma C} \quad (32)$$

Keterangan :

ΣB	=	Jumlah <i>benefit</i> selama n
ΣC	=	Jumlah <i>cost</i> selama n

P. Payback Period (PP)

Payback period Merupakan jangka waktu yang diperlukan untuk menutupi pengeluaran modal pada sebuah investasi menggunakan aliran kas netto (Net Cash Flow). Untuk menentukan payback period menggunakan Persamaan (33), (34) dan (35).[5]

$$\text{Cash In} = \text{benefit tahun } (0+1) \quad (33)$$

$$\text{Cash Out} = \text{Cost tahun } (0+1) \quad (34)$$

$$\text{Net Cash Flow} = \text{Cash In} - \text{Cash Out} \quad (35)$$

Selanjutnya menentukan Payback Period (PP) menggunakan Persamaan (36).[5]

$$\text{PP} = n \frac{a-b}{c-b} \times 1 \text{ tahun} \quad (36)$$

Keterangan :

$$\text{PP} = \text{Payback period}$$

$$a = \text{Investasi awal}$$

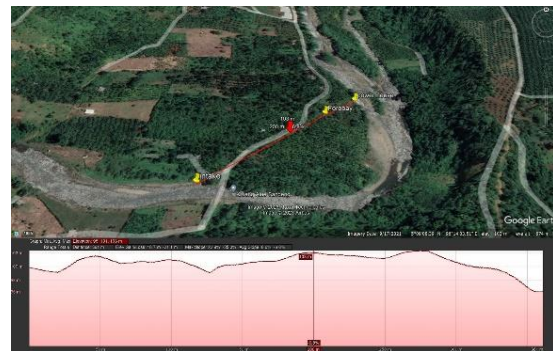
$$n = \text{Tahun mendekati tutup modal}$$

$$b = \text{Jumlah arus kas hingga tahun ke-}n$$

III. METODOLOGI

A. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Krueng Meurudu, desa Lhoksandeng, Kec. Meurudu, Kab. Pidie Jaya. Kemudian tempat spesifik seperti terlihat pada Gbr.2.



Gbr.2 Lokasi perencanaan PLTM

B. Konsep Perencanaan

Dalam melakukan perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) diperlukan konsep perencanaan awal yang meliputi sumber air, pemilihan turbin, pemilihan generator, perencanaan saluran air dan bangunan pelimpah dan analisis kelayakan ekonomi.

C. Perhitungan Dimensi

Perancangan dimulai dengan memasukkan data penelitian, debit air, tinggi jatuh air, lebar sungai, dan kedalaman sungai. data tersebut digunakan untuk melakukan perancangan, dan perancangan yang dilakukan adalah saluran intake, saluran pembawa, bak penenang, pipa penstock, saluran pembuang, turbin, generator, dan pulley.

D. Prosedur Pengumpulan Data

1. Teknik Observasi

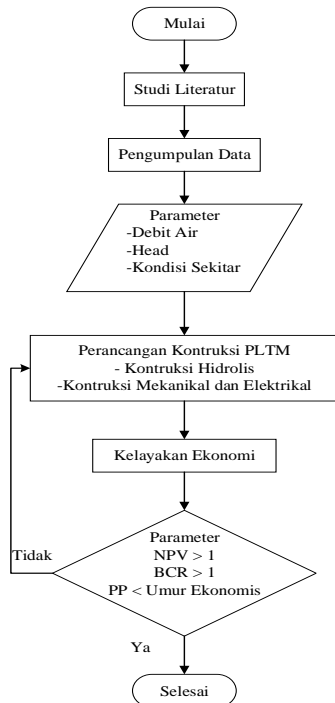
Observasi lapangan adalah cara mengumpulkan data dengan melakukan pengamatan dilokasi penelitian. Selain itu, observasi lapangan juga dilakukan untuk melakukan pemeriksaan rumus perhitungan yang dibuat dengan kondisi PLTM yang sudah ada.

2. Studi Literatur

Melakukan pengkajian teori dasar yang relevan dengan masalah yang diteliti, berupa buku, jurnal, dan karya tulis lainnya.

E. Metode Analisis

Tahapan pada penelitian perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) digambarkan pada Flowchart Gbr.3.



Gbr.3 flowchart penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengumpulan data yang diperlukan untuk perencanaan PLTM pada krueng meurudu, desa Lhoksandeng, Kec. Meurudu, Kab. Pidie Jaya.

A. Perancangan Intake

Untuk menentukan ukuran intake menggunakan Persamaan (1).

$$\begin{aligned} \text{Intake} &= 90\% \times D_{th} \times \ell \\ \text{Intake} &= 90\% \times 0.56 \times 30 \\ \text{Intake} &= 15.12 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Untuk menentukan tinggi bukaan pada intake menggunakan Persamaan (2) dan (3).

$$\begin{aligned} V &= m \sqrt{2 \cdot g \cdot z} \\ 1 &= 0.8 \sqrt{2 \times 9.81 \times z} \\ z &= 0.0791 \sim 0.08 \text{ m} \end{aligned}$$

Menghitung tinggi bukaan pada intake.

$$\begin{aligned} Q &= \mu \times b \times a \sqrt{2 \cdot g \cdot z} \\ a &= \frac{Q}{\mu \times b \times \sqrt{2 \cdot g \cdot z}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{7.92}{0.8 \times 3 \times \sqrt{2 \times 9.81 \times 0.08}} \\ &= 2.634 \text{ m} \end{aligned}$$

B. Perancangan Saluran Pembawa (Headrace)

Untuk menentukan ukuran saluran pembawa menggunakan Persamaan (4) dan (5).

$$\begin{aligned} A &= b \times h & P &= 2h + b \\ 7.92 &= 2h \times h & &= 4 + 4 \\ h^2 &= \frac{7.92}{2} & P &= 8 \text{ m} \\ h^2 &= 3.96 & v &= \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \\ h &= 1.99 \text{ m} & &= \frac{1}{0.015} \times \left(\frac{7.92}{8}\right)^{2/3} \times S^{1/2} \\ b &= 2h & 1 &= 66.44 \times S^{1/2} \\ b &= 4 \text{ m} & S^{1/2} &= 0.0151 \\ & & S &= 0.0002280 \end{aligned}$$

C. Perancangan Bak Penenang

Untuk menentukan ukuran panjang dan lebar bak penenang menggunakan Persamaan (6).

$$\begin{aligned} B &= 3b \\ &= 3 \times 4 \\ B &= 12 \text{ m} \\ L &= 2.5B \\ &= 2.5 \times 12 \\ L &= 30 \text{ m} \end{aligned}$$

Untuk menghitung kerdaaman air menggunakan Persamaan (7) dan (8).

$$\begin{aligned} S &= 0.54 \cdot v \cdot D^{0.5} \\ &= 0.54 \times 2.45 \times 2.03^{0.5} \\ S &= 1.89 \text{ m} \\ n &= S + D \\ &= 1.89 + 2.03 \\ n &= 3.92 \sim 4 \text{ m} \end{aligned}$$

D. Perancangan Penstock

Untuk menentukan diameter pipa pesat menggunakan Persamaan (9).

$$\begin{aligned} D_e &= 0.72 Q^{0.5} \\ &= 0.72 \times 7.92^{0.5} \\ &= 2.03 \text{ m} \\ D &= D_e \times 39.37 \\ &= 2.03 \times 39.37 \\ &= 79.92 \text{ inch} \end{aligned}$$

Untuk menentukan tebal minimum pipa pesat menggunakan Persamaan (10).

$$T_{min} = \frac{D + 20}{400}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{79.92 + 20}{400} \\
 &= \frac{99.92}{400} \\
 &= 0.249 \text{ inch} \sim 0.0063 \text{ m}
 \end{aligned}$$

E. Menentukan Head efektif

Untuk menentukan head efektif menggunakan persamaan (13).

$$\begin{aligned}
 H_{eff} &= H_{Bruto} - (H_e + H_f) \\
 &= 5 - (0.153 + 0.193) \\
 &= 5 - (0.346) \\
 H_{eff} &= 4.65 \text{ m}
 \end{aligned}$$

F. Perhitungan Daya dan Penentuan Turbin

Untuk menentukan potensi daya sungai menggunakan Persamaan (23).

$$\begin{aligned}
 P &= \rho \times g \times Q \times H \\
 &= 1000 \times 9.81 \times 7.92 \times 4.65 \\
 &= 1.837.491.48 \times 10^{-3} \\
 P &= 361.283 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Untuk menentukan daya output turbin menggunakan Persamaan (24).

$$\begin{aligned}
 P &= P \times \eta_{\text{turbin}} \\
 &= 361.283 \times 0.70 \\
 P &= 252.898 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Turbin yang digunakan yaitu turbin *crossflow* berdasarkan diagram pemilihan turbin dengan debit dan head yang didapat.

G. Perancangan Turbin

Diameter turbin sebesar 11.81 inch, untuk menentukan diameter *pitch circle*, *shaft* dan panjang turbin menggunakan Persamaan (16), (17) dan (18).

$$\begin{aligned}
 D &= 11.81 \text{ inch} \\
 D_p &= 0.7532 \times D = 0.7532 \times 11.81 \\
 D_p &= 8.8952 \text{ inch} \sim 8.90 \text{ inch} \\
 D_s &= 0.22 \times D = 0.22 \times 11.81 \\
 D_s &= 2.598 \text{ inch} \sim 2.60 \text{ inch} \\
 L &= \frac{144 \times Q}{C \times K \times D \times \sqrt{2gh}} \\
 &= \frac{144 \times 279.69}{0.98 \times 0.875 \times 11.81 \times \sqrt{2 \times 32.15 \times 15.26}} \\
 L &= 126.96 \text{ inch}
 \end{aligned}$$

H. Perancangan Pisau Turbin

Untuk menentukan ketebalan pisau, jarak antar pisau dan jumlah pisau menggunakan Persamaan (20), (21) dan (22).

$$\begin{aligned}
 t &= k \times D = 0.875 \times 11.81 \\
 t &= 1.033 \text{ inch} \\
 s &= \frac{t}{\sin \beta} = \frac{1.033}{\sin 30^\circ} = \frac{1.033}{0.5} \\
 s &= 2.067 \text{ inch} \\
 n &= \frac{\pi \times D}{s} = \frac{3.14 \times 11.81}{2.067}
 \end{aligned}$$

$$n = 17.94 \sim 18 \text{ bilah pisau}$$

I. Penentuan Generator

Untuk menentukan daya output generator menggunakan Persamaan (25).

$$\begin{aligned}
 P_{Gen} &= P_{\text{turbin}} \times \eta_{\text{Gen}} \\
 &= 252.898 \times 0.90 \\
 &= 227.608 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

J. Perancangan Pulley

Untuk mengetahui kecepatan putar yang dihasilkan oleh turbin, dilakukan perhitungan berdasarkan Persamaan (19).

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{862 H^{\frac{1}{2}}}{D} \\
 &= \frac{862 \times 4.65^{\frac{1}{2}}}{11.81} \\
 &= 157 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

Untuk mencari ukuran pulley yang terhubung dengan generator menggunakan Persamaan (26), dan (27).

$$\begin{aligned}
 D_1 &= D_{\text{Turbin}} \\
 &= 11.81 \text{ inch} \\
 D_2 &= \frac{\omega_1 \times D_1}{\omega_2} \\
 &= \frac{157 \times 11.81}{1500} \\
 &= 1.236 \text{ inch}
 \end{aligned}$$

K. Analisis Ekonomi Perencanaan PLTM Kreung Meureudu Desa Lhoksandeng

Analisis ekonomi PLTM Kreung Alue Sandeng melibatkan evaluasi kelayakan keuangan, termasuk investasi awal, biaya operasional dan pendapatan dari penjualan listrik. Analisa kelayakan ekonomi untuk menghitung PLTM ini menggunakan 3 metode yaitu *Net Present Value* (NPV), *Benefit Cost Ratio* (BCR), dan *Payback Period* (PP).

L. Investasi Awal

Investasi awal yang diperhitungkan mencakup pengeluaran untuk pembangunan serta biaya operasional tahunan PLTM. Biaya pembangunan dihitung berdasarkan rencana anggaran biaya yang telah ditetapkan, sedangkan biaya operasional PLTMH 2% dari biaya pembangunan awal. Untuk total investasi dapat dilihat pa Tabel (I).

Tabel II
Investasi

Biaya Investasi	
Jenis Pekerjaan	Biaya (Rp)
Pekerjaan Persiapan	715.000.000
Pekerjaan Sipil	9.090.000.000
Pekerjaan Mekanikal dan Elektrikal	2.300.000.000
Total	12.105.000.000
ppn 10%	1.331.550.000
Grand Total	13.436.550.000

M. Hasil Perhitungan Kelayakan Ekonomi

Berdasarkan perhitungan kelayakan ekonomi dengan menggunakan 3 metode analisis, maka didapatkan nilai NPV, BCR dan PP pada Tabel (III).

Tabel III
Hasil Perhitungan

Parameter	Suku Bunga 10%
NPV	Rp8.261.440.812
BCR	1.20
PP	9.91

V. KESIMPULAN

Dari data hasil yang telah di ambil dari hasil yang didapatkan dalam perhitungan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan debit air pada Krueng Meureudu desa Lhoksandeng sebesar Q90% 7.92 m³/s, tinggi jatuh air sebesar 5 meter, dan lebar serta kedalaman sungai sebesar 30 meter dan 0.56 meter, dan setelah dihitung rugi-rugi penstock maka didapatkan tinggi jatuh efektif 4.65 meter.
2. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa hanya turbin jenis *crossflow* yang memenuhi semua parameter tersebut. Dengan potensi daya sungai sebesar 361.283 kW, turbin *crossflow* mampu menghasilkan output sebesar 258.898 kW, sedangkan daya generator mencapai 227.608 kW. Oleh karena itu, turbin *crossflow* dipilih sebagai pilihan yang paling sesuai untuk PLTM Krueng Meureudu, desa Lhoksandeng.
3. Nilai investasi pada pembangunan PLTM Krueng Meureudu, desa Lhoksandeng sebesar Rp. 13.436.550.000 dengan tingkat suku bunga 10 % tiap tahunnya dengan umur ekonomis PLTM selama 30 tahun, maka analisis kelayakan ekonomi dilakukan melalui tiga metode, yaitu Net Present Value (NPV), Benefit-Cost Ratio (BCR), dan Payback Period (PP, dengan hasil NPV sebesar Rp. 13.436.550.000 > 1, BCR sebesar 1.20 > 1 dan PP terjadi 9.91 tahun masa pengembalian modal. Maka dengan hasil tersebut

perencanaan pembangunan PLTM Krueng Meureudu, desa Lhoksandeng layak dilaksanakan.

REFERENSI

- [1] B. S. Wiranto, **Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. Studi Kasus Di Curug Cigeuntis, Kecamatan Tegalwaru, Kabupaten Karawang, Jawa Barat**, 2018.
- [2] D. Sugiyanto, **Perencanaan Mikrohidro Dengan Turbin Kaplan Sebagai Penggerak Mula Pada Debit 0,52 M³/S Dan Ketinggian 2,65 m, PROSIDING Seminar Nasional Pangan, Energi, dan Lingkungan**, pp. 171–180, 2015.
- [3] A. Purnama, **Studi Kelayakan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro, Studi Kasus: PLTMH Minggir pada saluran irigasi Minggir di Padukuhan Klagaran Desa Sendangrejo Kecamatan Minggir Kabupaten Sleman, Jurnal UNSA Progress**, vol. Jilid 10, Nomor 15, pp. 93–110, 2011.
- [4] I. Zamzami, A. Irwansyah, and T. Hasannuddin, **Identifikasi Potensi Daya Listrik Dengan Pengukuran Debit Air Krueng Meuredu Pidie Jaya, Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe**, vol. Vol. 6 No. 1, pp. 128–123, 2022.
- [5] S. Putri Listiyanto, **Pemanfaatan Bendung Gerak Jatimlerek Jombang Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro**, 2015.
- [6] S. M. Dr. Hidayat, **MIKROHIDRO**. Jl. Sumatera Ulak Karang Padang, Sumbar, Indonesia: Universitas Bung Hatta, 2017.
- [7] E. Sulistiyo *et al.*, **Analisis Head Losses Pada Penstock Unit Iii Di Perum Jasa Tirta Ii Unit Jasa Pembangkit Plta Ir. H. Djuanda, Jurnal Power Plant**, vol. 6, no. 1, 2018.
- [8] A. Dhiva Pratama, E. Hidayah, and R. Utami Agung Wiyono, **Penentuan Desain Optimum Penstock untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Sungai Poreng, Jember, Jurnal Teknik Pengairan**, vol. 12, no. 1, pp. 71–80, May 2021, doi: 10.21776/ub.pengairan.2021.012.01.07.

- [9] I. Muhamad, R. Dan, and A. Syuriadi, **Analisis Faktor Head Losses Penstock Terhadap Daya Yang Dihasilkan Di Plta Saguling**, 2016. **Hidro (Pltmh) Berdasarkan Simulasi Waktu Di Sungai Kedung Pasang Kabupaten Pacitan**, 2018.
- [10] M. Barlian, Made Mara, and A. P. Yesung, **Perancangan Pipa Pesat, Dan Daya Keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Air Kokok Putih Desa Bilok Petung Kecamatan Sembalun Kabupaten Lombok Timur**, *Dinamika Teknik Mesin*, vol. Volume 3 No. 2, pp. 136–143, 2013.
- [11] H. Sudibyoy, **Perhitungan Rancangan Turbin Air dengan Head 1 m dan Debit Air 0,120 m³/s untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air**, 2018.
- [12] E. Sulistiyo *et al.*, **Analisis Head Losses Pada Penstock Unit Iii Di Perum Jasa Tirta Ii Unit Jasa Pembangkit Plta Ir. H. Djuanda**, *Jurnal Power Plant*, vol. 6, no. 1, 2018.
- [13] H. E. Mantiri, M. Rumbayan, and G. M.Ch. Mangindaan, **Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Listrik Minihidro Sungai Moayat Desa Kobo Kecil Kota Kotamobagu**, *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. Vol. 7 no. 3, pp. 227–238, 2018.
- [14] S. Aiyub, Y. Yaman, and S. Sayuti, **Studi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Di Kampung Tingkem Kecamatan Blang Jerango Gayo Lues**, *J Teknol*, pp. 70–78, 2021.
- [15] E. Yuniarti, **Rancangan Parameter Turbin Crossflow Generator Sikron Pada Pltmh Talang Lintang**, 2012.
- [16] B. P. Perencanaan Energi Baru dan Terbarukan PLN Wilayah Kalimantan Barat, **Analisis Ekonomi Energi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Meragun (Desa Meragun, Kec. Nanga Taman, Kab. Sekadau)**, 2013.
- [17] B. Purwanto Balai Penelitian Kehutanan Solo Jl Jend Ahmad Yani, **Analisis Finansial Dan Ekonomi Pembangkit Listrik Mikrohidro Di Berapa Lokasi, Propinsi Jawa Tengah, Indonesia (Financial And Economic Analysis Of Microhydro Electricity Plants, At Some Locations, Central Java Province, Indonesia)**, 2011.
- [18] M. Abi Rafdi and R. Hadiani, **Potensi Energi Tahunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro**