

**STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
MIKRO HIDRO (PLTMH) DISALURAN PRIMER SINDUPRAJA
KABUPATEN MAJALENGKA PROVINSI JAWA BARAT**

JURNAL

**TEKNIK PENGAIRAN KONSENTRASI
PERENCANAAN TEKNIK BANGUNAN AIR**

Ditujukan Untuk Memenuhi Persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**MOHAMMAD ARIEF RUSDIONO
NIM. 135060401111023**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG**

2017

STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) DI SALURAN PRIMER SINDUPRAJA KABUPATEN MAJALENGKA PROVINSI JAWA BARAT

Mohammad Arief Rusdiono¹, Suwanto Marsudi², Prima Hadi Wicaksono²

¹Mahasiswa Program Sarjana Jurusan Teknik Pengairan Universitas Brawijaya

²Dosen Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

¹Email: mariefrusdiono64@gmail.com

ABSTRAK: Jawa barat merupakan salah satu wilayah dengan kebutuhan listrik yang terus meningkat dan memerlukan tambahan energi listrik untuk memenuhi energi listrik yang terus meningkat. Dengan melihat potensi yang ada di Jawa Barat, di Saluran Primer Sindupraja yang terletak di Kabupaten Majalengka dapat menjadikan pilihan untuk memperbesar nilai produksi energi listrik dari sektor terbarukan. Agar dapat dimanfaatkan perlu adanya kajian perencanaan terhadap kelayakan dari sisi teknis dan ekonomi untuk PLTMH Sindupraja. Berdasarkan hasil perhitungan, debit pembangkit sebesar $Q_{45\%} = 17,813 \text{ m}^3/\text{detik}$. Adapun komponen lain meliputi bangunan pengambilan, saluran pembawa, bak penenang dan pipa pesat. Pipa pesat yang digunakan dengan diameter 2,25 meter dan ketebalan 11 mm dengan bermaterial baja (*welded steel*). Setelah itu, terdapat saluran pembuang (*tailrace*) yang fungsinya untuk menyalurkan air dari turbin kembali ke saluran. Turbin yang digunakan berjenis Kaplan dengan 2 unit yang menghasilkan daya sebesar 220,664 kW dan memproduksi energi dalam 1 tahun sebesar 1.928.145,78 kWh. Hasil dari analisa ekonomi menunjukkan proyek PLTMH Sindupraja layak dibangun dengan parameter BCR sebesar 1,53, NPV sebesar 7,6 Milyar rupiah, IRR sebesar 10,94% dan *Payback period* selama 7,45 atau 7 tahun 4,5 bulan.

Kata kunci: PLTMH, debit, pipa pesat, listrik, analisa ekonomi

ABSTRACT: West Java is one of the area with increasing of electricity demand and require additional electrical energy to fullfil the growing electrical energy. By looking at the potential that existed in West Java, the Sindupraja channel located in the district Majalengka can be an option to increase the value of electricity production from renewable sectors. In order to be utilized, there needs of designing from technical and economic feasibility of PLTMH Sindupraja. From the calculation, plant discharge (Q_{45}) to be $17,813 \text{ m}^3/\text{s}$. There are the components such as intake, headrace, forebay and penstock. Penstock used 2,25 m of diameter and 11 mm of thickness with the welded steel material. Then, there is a tailrace that will transmit the water from turbine back to channel. The selected turbines are 2 units of Kaplan type, with the 220,664 kW power produced and 1.928.145,78 kWh energy produces in a year. The result of economic analysis, the project is feasible with $BCR = 1,53$, $NPV = 7,6 \text{ Billion rupiahs}$, $IRR = 10,94\%$, and *payback period* within 7,45 or 7 years and 4,5 month.

Keyword: Hydropower, flow, penstock, electric, economic analysis

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi yang sangat besar dalam bidang sumber daya air, tetapi untuk saat ini sedang dirintis

kerjasama Pemerintah dengan badan usaha baik dari sektor penyediaan infrastruktur maupun dalam pengelolaan sumber daya air. Salah satu bentuk

dukungan pemerintah dalam bidang sumber daya air untuk memenuhi kebutuhan Pemerintah yaitu dengan pengadaan tenaga listrik dari sektor energi terbarukan melalui optimalisasi potensi prasarana sumber daya air seperti waduk atau bendungan, bendung maupun saluran irigasi untuk dapat dimanfaatkan oleh pihak swasta melalui kerjasama pemanfaatan prasarana yang ada.

Kebutuhan energi yang semakin meningkat dengan sejalan meningkatnya perkembangan kebutuhan manusia. Dengan makin menipisnya sumber daya energi yang memanfaatkan BBM, maka dilakukanlah berbagai macam pemanfaatan sumber energi. Energi baru dan terbarukan merupakan salah satu solusinya. Energi surya, energi angin, energi biomasa dan energi air. Potensi energi air yang besar dan pemanfaatannya masih belum maksimal, sudah selayaknya dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di daerah terpencil, pedesaan dan juga dikembangkan untuk sistem interkoneksi dengan jaringan PLN yang ada.

Dengan demikian pemerintah harus mulai mengembangkan dari segi potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) lebih banyak lagi. Akan tetapi dalam pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro harus selalu memperhatikan adanya beberapa aspek di antaranya yaitu aspek teknis, aspek lingkungan, dan aspek ketersediaan energi.

Rencana proyek PLTMH ini berada di Saluran Primer Sindupraja secara umum dapat direalisasikan pembangunannya baik atas pertimbangan sosial dan perkiraan kebutuhan pemakaian listrik di daerah tersebut. Saluran Primer Sindupraja mengalirkan debit yang dapat diandalkan sepanjang tahunnya, dan memiliki kontur yang sesuai dengan teknis perencanaan untuk dibangun PLTMH. Dengan kondisi demikian, ada kemungkinan air yang belum dimanfaatkan tersebut digunakan untuk

membangkitkan listrik. Listrik yang akan dihasilkan dimaksudkan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik masyarakat Desa Penyingkiran Kabupaten Majalengka dan juga sebagai penerangan Bendung Rentang.

TINJAUAN PUSTAKA

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro-hidro (PLTMH), biasa disebut mikro-hidro, adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai penggerakannya, misalnya saluran irigasi, sungai atau air terjun alam, dengan cara memanfaatkan tinggi terjunnya (*head*, dalam meter) dan jumlah debit airnya ($m^3/detik$) Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro (PLTMH).

Prinsip kerja PLTMH adalah memanfaatkan beda tinggi dan jumlah debit air per-detik yang ada pada aliran atau sungai. Air yang mengalir melalui *intake* dan diteruskan oleh saluran pembawa hingga *penstock* yang akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Turbin air akan memutar generator dan menghasilkan listrik.

Debit andalan

Penghitungan debit andalan dapat dilakukan berdasarkan data debit hasil pencatatan pos duga muka air atau penghitungan data curah hujan. Apabila tersedia data debit secara lengkap baik dalam satuan waktu harian maupun satuan waktu bulanan yang tercatat selama setidaknya 10 tahun, maka dapat langsung dilakukan analisis pada uraian paling akhir dari sub bab ini. Apabila analisis tidak dapat dilakukan karena data yang tidak ada, tidak lengkap atau banyak data yang hilang, maka analisis debit menggunakan cara perhitungan berikut ini yang dilakukan dengan beberapa parameter. Hasil analisis tersebut dapat melengkapi data debit yang tidak lengkap atau hilang. Adapun langkah perhitungan debit andalan sebagai berikut:

- Kumpulkan data debit dengan interval waktu tertentu
 - Cek untuk kecukupan panjang atau interval pencatatan data debit
 - Lakukan pengujian validasi untuk data debit
 - Tentukan peringkat data.
 - Hitung probabilitas dengan metode weilbull $P = \frac{m}{n+1} \times 100\%$ [1]
- Dengan:
- P = probabilitas kejadian (%)
 - m = nomor urut data
 - n = jumlah data dalam analisis
- Hitung debit andalan berdasarkan probabilitas sesuai peruntukan.
 - Buat kurva durasi debit.

Perencanaan Bangunan Sipil

Konstruksi bangunan sipil yang terdapat pada PLTMH ini yaitu bangunan pengambilan (*Intake*), saluran pembawa (*Headrace*), bak penenang (*Forebay*), pipa pesat (*Penstock*) sampai dengan rumah pembangkit (*power house*) dan konstruksi yang mendukung lainnya.

1. Bangunan pengambilan (*Intake*)

Intake adalah suatu konstruksi yang berguna untuk mengambil air dari sumber air di permukaan tanah seperti *reservoir*, sungai, danau atau kanal yang berfungsi untuk dapat memenuhi kebutuhan irigasi atau pembangkit listrik. Untuk kapasitas pengambilan dengan 120% dari kebutuhan yang akan direncanakan. Berikut ini rumus mencari debit yang melalui pintu pengambilan:

$$Q = K \mu a b \sqrt{2g \cdot h_1} \quad [2]$$

Dengan:

- Q = debit, (m³/dt)
- K = faktor aliran tenggelam
- μ = koefisien debit
- a = bukaan pintu (m)
- b = lebar pintu (rn)
- g = percepatan gravitasi(9,81 m/dt²)
- h_1 = kedalaman air di depan pintu diatas ambang (m)

2. Saluran pembawa (*Headrace*)

Saluran pembawa menggunakan saluran terbuka dengan bentuk persegi. Debit yang melalui saluran dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q_d = \frac{A \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}}{n} \quad [3]$$

Dengan:

- Q = debit (m³/dt)
- A = luasan dimensi (m²)
- R = jari-jari hidrolis (m)
- S = Kemiringan dasar saluran
- n = Koefisien kekasaran

3. Bak penenang (*Forebay*)

Bak penenang berfungsi mencegah adanya udara masuk kedalam pipa yang dapat mengakibatkan kerusakan ketika muka air berada dititik terendah. lebar bak penenang berfungsi untuk menyerap getaran dari saluran pembawa dengan maksimum debit sekitar 10-20 kali dari maksimum debit. Besar dan kecilnya suatu dimensi bak penenang bergantung dari panjang pipa pesat.

$$V_{sc} = A_s \times d_{sc} = B \times L \times d_{sc} \quad [4]$$

Dengan:

- A_s = Luas bak penenang (m²)
- B = Lebar bak penenang (m)
- L = Panjang bak penenang (m)
- d_{sc} = kedalaman air

4. Pipa pesat (*Penstock*)

Pipa pesat berfungsi mengubah energi potensial air di bak penenang menjadi energi kinetik, kemudian diarahkan ke pemutar roda gerak turbin. Untuk mendapatkan diameter pipa pesat dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut: (ESHA, 2004:139)

$$D = 2,69 \times \left(\frac{n^2 \times Q^2 \times L}{H} \right)^{1,875} \quad [5]$$

Dengan:

- D = diameter pipa pesat (mm)
- n = nilai kekasaran Manning
- Q = debit pembangkit (m³/dt)
- L = panjang pipa pesat (m)
- H = tinggi jatuh kotor (m)

- **Ketebalan Pipa**

Sedangkan untuk menentukan tebal pipa pesat digunakan persamaan *Cylinder Formulae*: (Varshney, 1977:411)

$$P = \rho \times g \times h \quad [6]$$

$$T = \frac{P \times r \times 1000}{q} \quad [7]$$

Dengan:

t = tebal pipa pesat (m)

P = gaya (ton/m²)

r = jari-jari pipa pesat (m)

q = tegangan material pipa pesat yang digunakan (ton/m²)

ρ = massa jenis air (ton/m³)

g = percepatan gravitasi (9,81 m/dt²)

H = tinggi jatuh kotor (m)

5. Saluran Pembuang (*Tailrace*)

Saluran pembuang berfungsi untuk mengalirkan debit dari turbin kembali ke saluran atau sungai, saluran pembuang dapat direncanakan berbentuk persegi dan menggunakan pasangan beton dengan desain perencanaan saluran terbuka.

- **Kehilangan Tinggi**

Untuk kehilangan tinggi tekan yang perlu dianalisa dalam komponen PLTMH yaitu kehilangan pada *intake*, saluran pembawa, bak penenang, *trashrack*, pipa pesat sampai katub turbin.

Perencanaan Hidromekanikal

1. Pemilihan turbin

Untuk pemilihan jenis turbin berdasarkan grafik pada IMIDAP (2009C:19) dan juga digunakan perhitungan spesifik untuk mendapatkan turbin yang cocok.

2. Kavitas

Kavitas akan terjadi jika tekanan hidrodinamis pada aliran air jatuh ke bawah tekanan uap. Sehingga terjadi penurunan efisiensi, timbulnya getaran, terdengar suara berisik. Untuk menghindari adanya kavitas maka jarak

penempatan turbin harus diperhitungkan, berikut persamaan penempatan turbin:

$$H = \frac{p_{atm} - p_v}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2 \cdot g} - \sigma \cdot H \quad [8]$$

Dengan:

H_s = tinggi hisap (m)

P_{atm} = tekanan atmosfer

P_v = tekanan uap air

P = massa jenis air (kg/m³)

g = gravitasi (m/detik²)

v = kecepatan (m/detik)

σ = sigma thoma

H = tinggi jatuh (m)

Dengan persamaan sigma Thoma untuk turbin Kaplan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{1,5241 \cdot n_{QE}^{1,46} + v^2}{2 \cdot 9,81 H} \quad [9]$$

Dengan:

$$\eta_s = \frac{2,294}{H e^{0,486}} \text{ (untuk Kaplan)} \quad [10]$$

3. Generator

Generator adalah suatu peralatan yang berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Perhitungan kecepatan generator dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$n = \frac{f}{N_{poles}/2} \times 60 \quad [11]$$

Dengan:

N = kecepatan putar generator (rpm)

f = frekuensi (50 atau 60 Hz)

N_{poles} = jumlah poles

- **Daya dan energi**

Daya dan energi hasil dari PLTMH dapat diketahui dengan persamaan:

$$\text{Daya teoritis} = 9,81 \times Q \times H_{eff} \quad [12]$$

$$\text{Daya turbin} = 9,81 \times \eta_t \times Q \times H_{eff} \quad [13]$$

$$\text{Daya generator} = 9,81 \times \eta_g \times \eta_t \times Q \times H_{eff} \quad [14]$$

untuk energi yang dihasilkan dapat menggunakan persamaan berikut:

$$E = P \times 24 \times n \quad [15]$$

Dengan:

P = Daya yang dihasilkan (kW)

η_g = Efisiensi Turbin

η_t = Efisiensi Generator

P = massa jenis air = 1000 (kg/m³)

Q = debit pembangkit (m^3/dt)
 H_{eff} = tinggi jatuh efektif (m)
 n = Jumlah hari

Analisa Ekonomi

1. Biaya

Biaya modal (*Capital cost*) adalah jumlah semua pengeluaran yang dibutuhkan mulai dari pra studi sampai proyek selesai dibangun. Semua pengeluaran yang termasuk biaya modal dibagi menjadi dua bagian yaitu biaya langsung dan biaya tak langsung. Biaya modal dapat dinyatakan menggunakan persamaan empiris dalam *RETscreen*.

2. Manfaat

Manfaat PLTMH didasarkan pada tenaga listrik yang dihasilkan tiap tahun dan tarif dasar listrik yang berlaku. Sehingga, untuk mendapatkan nilai manfaat suatu proyek harus adanya perhitungan produksi energi selama 1 tahun dan perhitungan tersebut akan diakumulasikan dengan total tahun investasi. Untuk akumulasi tersebut berdasarkan PERMEN ESDM No. 12 Tahun 2014 untuk Jawa Barat harga listrik rerata ditetapkan Rp. 1270/kWh untuk tahun pertama sampai kedelapan dan tahun kesembilan sampai dengan keduapuluh Rp.770/kWh.

3. Benefit Cost Ratio (BCR)

Benefit Cost Ratio (BCR) adalah perbandingan antara nilai sekarang (*present value*) dari manfaat (*benefit*) dengan nilai sekarang dari biaya (*cost*). Secara umum persamaan untuk perhitungan BCR ini adalah (Pujawan, 1995:259):

$$BCR = \frac{PV_{manfaat}}{PV_{biaya}} \quad [16]$$

Dengan:

BCR = *benefit cost ratio*

$PV_{manfaat}$ = nilai manfaat sekarang

PV_{Biaya} = nilai biaya sekarang

4. Net Present Value (NPV)

Net Present Value (NPV) merupakan selisih antara *present value* dari manfaat dan *present value* dari biaya. Secara umum persamaan untuk perhitungan nilai *Present Value* ini adalah sebagai berikut (Kuiper, 1971:45):

$$P = \frac{F}{(1+i)^n} \quad [14]$$

Dengan:

P = nilai sekarang (*Present Value*)

F = nilai pada tahun ke- n

I = nilai suku bunga

5. Internal Rate of Return (IRR)

Internal Rate of Return merupakan nilai suku bunga yang diperoleh jika BCR bernilai sama dengan 1, atau nilai suku bunga jika NPV bernilai sama dengan 0. Perhitungan nilai IRR ini dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut (Kodoatie, 1995:112):

$$IRR = I' + \frac{NPV}{NPV' - NPV''} (I' - I'') \quad [15]$$

Dengan:

I' = suku bunga memberikan nilai NPV positif

I'' = suku bunga memberikan nilai NPV negatif

NPV' = NPV positif

NPV'' = NPV negatif

6. Payback Period

Payback Periode merupakan jangka waktu periode yang diperlukan untuk membayar kembali (mengembalikan) semua biaya-biaya yang telah dikeluarkan dalam investasi suatu proyek. Secara umum persamaan untuk perhitungan *Payback period* ini adalah

$$Payback\ Periode = \frac{I}{A_b} \quad [17]$$

Dengan:

I = Besarnya biaya investasi yang diperlukan

A_b = *Benefit* bersih yang dapat diperoleh setiap tahun

7. Analisa Sensitivitas

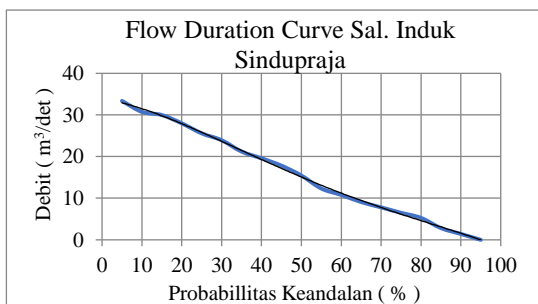
Analisis sensitivitas bertujuan untuk melihat apakah yang akan terjadi dengan hasil analisa kegiatan jika kemungkinan

perubahan dalam dasar-dasar asumsi pada perhitungan biaya dan manfaat. Dalam hal ini akan dihitung berdasarkan parameter:

- (1) Penurunan hasil produksi energi sebesar 10%,20% dan batas sensitif
- (2) Adanya kenaikan biaya investasi 10%,20% dan batas sensitif
- (3) Penurunan hasil produksi dan kenaikan biaya investasi secara bersamaan dengan presentase 10% dan 20%.

ANALISA DATA DAN PERENCANAAN Debit Andalan

Berdasarkan hasil dari analisa debit dengan menggunakan metode dari weilbull dengan mengurutkan debit dari nilai besar ke nilai yang terkecil dengan peluang dari besarnya yang terjadi pada setiap debit didapatkan kurva durasi aliran atau *Flow Duration Curve* sebagai berikut:



Gambar 1. Kurva Durasi Aliran

Berdasarkan optimasi pada debit andalan dengan membandingkan debit Q_{45} , Q_{50} , Q_{55} , Q_{60} dan Q_{65} didapatkan dari ke-lima perbandingan debit tersebut, bahwa debit pembangkitan yang dipakai sebesar $17,813 \text{ m}^3/\text{detik}$ dengan keandalan debit sebesar 45%.

Perencanaan Bangunan Sipil

1. Bangunan Pengambilan

Bangunan pengambilan atau *Intake* direncanakan menggunakan debit desain 120% dari debit pembangkit. Berikut spesifikasi perencanaan:

Debit desain	= 120% x $17,813 \text{ m}^3/\text{det}$
	= $21,38 \text{ m}^3/\text{det}$
Tinggi ambang	= 0,10 meter
Lebar <i>Intake</i>	= 2,2 m x 4 buah pintu
Elevasi ambang	= +14,259

$$\begin{aligned} \text{Debit per pintu} &= K \mu a b \sqrt{2g \cdot h_1} \\ &= 0,96 \cdot 0,58 \cdot 1,0 \cdot 2,2 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1,20} \\ &= 5,53 \text{ m}^3/\text{det} \end{aligned}$$

2. Saluran Pembawa

Saluran pembawa direncanakan untuk mempertahankan kestabilan debit air dari *intake* menggunakan 110% dari debit pembangkit. Berikut spesifikasi bangunan pembawa:

Debit desain	= $19,59 \text{ m}^3/\text{det}$
Lebar saluran	= 5 meter
Kemiringan sal.	= 0,001
Tinggi muka air	= 1,74 meter
Tinggi jagaan	= 0,58 meter
Kecepatan aliran	= 2,25 m/det
Material	= pasangan beton

3. Bak Penenang

Debit pembangkit	= $17,813 \text{ m}^3/\text{det}$
Debit rencana	= $21,38 \text{ m}^3/\text{det}$

Untuk kapasitas volume bak penenang menurut JICA, untuk pengontrolan beban dan debit maka kapasitas bak penenang dapat didesain 10 sampai 20 kali dari debit rencana bak penenang. Oleh karena itu, spesifikasi dari bak penenang sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= 21,38 \times 10 \\ &= 213,80 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Volume desain rencana

$$\text{Lebar bak} = 6 \text{ meter}$$

$$\begin{aligned} h_c &= \left(\frac{\alpha \cdot Qd^2}{9,81 \cdot B^2} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= \left(\frac{1,1 \cdot 21,38^2}{9,81 \cdot 6,0^2} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= 1,27 \text{ meter} \end{aligned}$$

$$h_0 = 1,74 \text{ meter}$$

$$V_f = A_f \times h_f$$

$$10Q = B_f \times L \times (b_s + \Delta z)$$

$$213,8 = 6,0 \times L \times 6,0$$

$$L = 5,94 \text{ meter}$$

Sehingga, dengan panjang 5,94 meter maka volume untuk bak penenang terpenuhi.

4. Pipa pesat

Berdasarkan hasil perhitungan diameter pipa pesat didapatkan diameter pipa pesat sebesar 2,25 meter dengan ketebalan 11 mm dan untuk *water hammer*

dengan total tinggi tekanan sebesar 17,37 meter saat katup ditutup selama 5 detik.

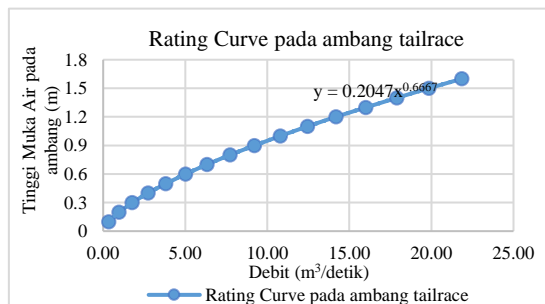
5. Saluran Pembuang

Pada saluran pembuang direncanakan berbentuk persegi tipe saluran terbuka. Berikut data teknis perencanaan saluran pembuang:

- Debit pembangkit (Qp) = 21,38 m³/dt
- Elevasi ambang *tailrace* = +11,513
- Bentuk saluran = persegi
- Lebar saluran = 5 meter
- Air dari saluran pembuang akan melalui ambang pada ujung saluran. Berikut data teknis perencanaan ambang:
- Tinggi ambang = 0,6 meter
- Lebar ambang = 5 meter
- Bentuk ambang = ogee 1
- P/Hd = 0,6/0,67 = 0,90

Dengan menganalisa tinggi muka air pada ambang, maka menggunakan persamaan berikut:

$Q = C.B.H^{1.5}$ nilai C atau koefisien debit digunakan (C = 2,16) maka didapatkan lengkung kapasitas debit (*rating curve*) berdasarkan debit pembangkit pada ambang saluran pembuang sebagai berikut:



Gambar 2. Rating Curve pada ambang *tailrace*

• Kehilangan tinggi

Tabel 1. Total Kehilangan tinggi

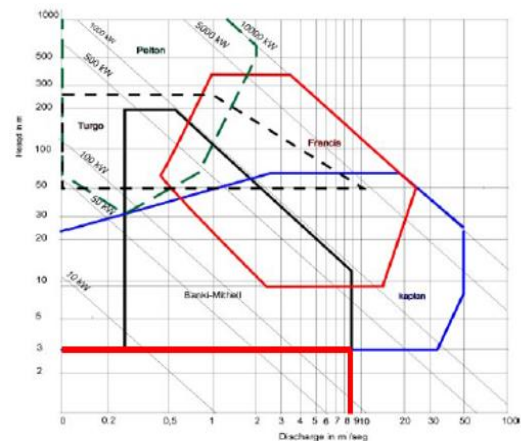
Bulan	Jumlah Hari	Debit (m ³ /dt)	Qmanfaat (m ³ /dt)	El. MAI	TWL	Head Loss	Heff (m)	
Januari	31	31.252	17.813	18.625	13.090	3.636	1.899	
Februari	28	28.094	17.813	18.625	13.090	2.943	2.592	
Maret	31	22.929	17.813	18.625	13.090	1.967	3.568	
April	30	21.504	17.813	18.625	13.090	1.733	3.803	
Mei	31	26.395	17.813	18.625	13.090	2.601	2.935	
Juni	30	16.819	8.910	15.748	13.090	1.066	1.593	
Juli	31	14.207	8.910	15.748	13.090	0.764	1.895	
Agustus	31	6.533	0.000	14.259	13.090	0.167	1.002	
September	30	2.498	0.000	14.259	13.090	0.027	1.142	
Oktober	31	1.788	0.000	14.259	13.090	0.015	1.155	
November	30	17.055	8.910	15.748	13.090	1.095	1.563	
Desember	31	27.985	17.813	18.625	13.090	2.920	2.615	
RERATA								2.147

Berdasarkan Analisa kehilangan tinggi pada seluruh komponen PLTMH Sindupraja, didapatkan hasil perhitungan pada tabel 1. Dari tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa tinggi jatuh efektif pada PLTMH Sindupraja sebesar 2,147 m. Tinggi jatuh efektif yang akan digunakan untuk membangkitkan daya pada PLTMH Sindupraja.

Perencanaan Hidromekanikal

1. Pemilihan turbin

Berdasarkan debit pembangkitan dan juga tinggi efektif, Penentuan turbin yang akan digunakan dapat menggunakan cara grafik dan berdasarkan kecepatan spesifik. Parameter untuk penentuan dengan grafik adalah sebagai berikut:



Gambar 3. Pemilihan jenis turbin

Dari grafik diatas dapat diketahui turbin jenis Kaplan yang dipilih. Jika ditinjau dari segi kecepatan spesifik maksimum maka turbin Kaplan sebagai berikut:

$$N_s = \frac{2283}{\frac{H^{0,486}}{2283}} = \frac{2283}{2,147^{0,486}} = 1574,92 \text{ rpm}$$

(memenuhi untuk turbin Kaplan)

Debit pembangkit dengan 17,813 m³/det kemudia akan dibagi kepada 2 unit turbin.

2. Kavitas

Berdasarkan perhitungan nilai Hs, runner turbin minimal berada 3,03 meter dibawah dari perencanaan elevasi tail water level. Direncanakan runner turbin 3,03 meter dibawah rencana elevasi tail water level = 13,09 – 3,03 = 10,06

3. Generator

Berdasarkan hasil perhitungan dengan persamaan kecepatan generator didapatkan bahwa kecepatan generator sebesar 1000 rpm dilengkapi dengan sistem 3 fasa dan frekuensi 50 Hz pada PLTMH Sindupraja ini.

Daya dan Energi

1. Daya

PLTMH Sindupraja mampu menghasilkan daya listrik sebesar:

- Daya teoritis (desain)

$$\begin{aligned} P_{\text{desain}} &= 9,81 \times Q \times H_{\text{eff}} \\ &= 9,81 \times 17,813 \times 2,147 \\ &= 375,202 \text{ kW} \end{aligned}$$

- Daya turbin

$$\begin{aligned} P_{\text{turbin}} &= 9,81 \times \eta_t \times Q \times H_{\text{eff}} \\ &= 9,81 \times 0,8 \times 17,813 \times 2,147 \\ &= 300,161 \text{ kW} \end{aligned}$$

- Daya Generator

$$\begin{aligned} P_{\text{generator}} &= 9,81 \times \eta_g \times \eta_t \times Q \times H_{\text{eff}} \\ &= 9,81 \times 0,95 \times 0,8 \times 17,813 \times 2,147 \\ &= 285,153 \text{ kW} \end{aligned}$$

2. Energi

Berdasarkan hasil perhitungan untuk energi yang dihasilkan dalam satu tahun oleh Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Sindupraja ini sebesar 1.928.145.78 kWh. Dengan debit minimum operasi untuk setiap turbin sebesar 1,34 m³/det.

Analisa Ekonomi

1. Biaya

Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan rumus empiris RETscreen Canada(2005) didapatkan biaya dari setiap komponen PLTMH Sindupraja

meliputi teknis, elektromekanikal, Instalasi peralatan hidromekanikal, kabel transmisi, substansi dan transformer, pekerjaan sipil, pipa pesat dan biaya lain-lain. Nilai biaya PLTMH Sindupraja sebagai berikut:

Tabel 2. Biaya PLTMH Sindupraja

Komponen	Biaya
Teknis	Rp 755,523,087.03
Elektromekanikal	Rp 3,981,950,442.08
Instalasi Peralatan Hidromekanikal	Rp 597,292,566.31
Pembuatan Jalan Akses	Rp -
Kabel Transmisi	Rp 297,664,636.50
Substansi dan Transformer	Rp 87,581,965.09
Instalasi Substansi dan Transformer	Rp 13,137,294.76
Pekerjaan Sipil	Rp 3,002,129,396.67
Penstock	Rp 1,023,142,858.09
Instalasi Penstock	Rp 255,785,714.52
Waterway	Rp 1,528,540.99
Biaya Lain-lain	Rp 535,151,247.57
Total	Rp 10,550,887,749.61
PPN 10%	Rp 1,055,088,774.96
Biaya Tak Langsung (10% dari Total biaya + PPN)	Rp 1,160,597,652.46
Biaya Modal	Rp 12,766,574,177.03

2. Manfaat

Berdasarkan hasil perhitungan energi untuk nilai manfaat dengan harga jual listrik Rp. 1270/kWh maka:

$$= 1.928.145.78 \times \text{Rp. } 1270$$

$$= \text{Rp. } 2,448,745,145.83$$

(tahun pertama sampai dengan kedelapan)

3. Benefit Cost Ratio (BCR)

Untuk perhitungan ini pembagian antara manfaat dengan biaya yang dikeluarkan (biaya modal dan biaya operasi dan pemeliharaan) dengan menggunakan suku bunga 6,50% maka:

$$\begin{aligned} \text{BCR} &= \frac{PV_{\text{manfaat}}}{PV_{\text{biaya modal}} + PV_{\text{biaya O\&P}}} \\ &= \frac{\text{Rp } 22.228.871.734,61}{\text{Rp } 12.766.574.177,03 + \text{Rp } 1.799.576.295,99} \\ &= 1,53 \end{aligned}$$

4. Net Present Value (NPV)

Untuk perhitungan NPV berdasarkan nilai biaya dan manfaat, maka menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{NPV} &= PV_{\text{manfaat}} - (PV_{\text{biaya modal}} + PV_{\text{biaya o\&p}}) \\ &= \text{Rp } 22.228.871.734,61 - (\text{Rp } 12.766.574.177,03 + \text{Rp } 1.799.576.295,99) \\ &= \text{Rp } 7.662.721.261,59 \end{aligned}$$

5. Internal Rate of Return (IRR)

Untuk mendapatkan nilai IRR dengan cara coba-coba menggunakan dua atau

lebih tingkat suku bunga atau dengan menggunakan persamaan berikut:

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

$$= \frac{0 - (-4,109,429,903.36)}{4,109,429,903.36 - (-48,981,184.73)} (8,50\% - 11\%)$$

$$= 10,94\%$$

6. Payback Period

Hasil dari perhitungan analisa ekonomi menghasilkan nilai pengembalian investasi sebesar 7,45 atau bisa dibulatkan pada tahun ke-7.

7. Sensitivitas

Hasil dari analisa sensitivitas pada PLTMH Sindupraja ditunjukkan melalui tabel berikut:

Tabel 3. Sensitivitas

Penurunan Produksi		
Tingkat	NPV	BCR
14.31%	1.94	1.10
20.00%	0.52	1.03
22.10%	0.00	1.00
Kenaikan Biaya Investasi		
Tingkat	NPV	BCR
10.00%	3.57	1.17
20.00%	1.63	1.07
33.05%	0.00	1.00

Untuk mengetahui hasil ketika BCR = 1 dan NPV = 0. Maka, sebagai berikut:

Gabungan anatar Produksi Turun dan biaya investasi naik			
Produksi turun	Biaya Investasi	NPV	BCR
Tingkat	Tingkat	NPV	BCR
14.31%	10.00%	Rp 0.00	1.00
20.00%	20.00%	-Rp 3.36	0.86

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Dari hasil untuk analisa debit, konsep perencanaan bangunan sampai dengan perhitungan dan perencanaan, debit pembangkitan yang digunakan adalah 17,813 m³/detik (debit andalan 45%)
2. Komponen mekanik dari PLTMH Sindupraja adalah turbin dan generator, berdasarkan perencanaan dan analisa didapatkan hasil sebagai berikut:
 - Turbin yang digunakan adalah 2 unit turbin Kaplan horizontal.
 - Generator yang digunakan berkecepatan 1000 rpm, memiliki sistem 3 fasa dan frekuensi 50 Hz, dengan jumlah 6 buah kutub.

3. Berdasarkan hasil perencanaan, PLTMH Sindupraja akan mengeluarkan daya dan energi tahunan sebagai berikut:
 - Daya yang dihasilkan setiap tahun sebesar 220,664 kW.
 - Produksi energi tahunan sebesar 1.928.145,78 kWh.

4. Selain dari aspek daya dan komponen mekanik, adapun spesifikasi teknis perencanaan untuk komponen PLTMH Sindupraja sebagai berikut:
 - Bangunan pengambilan memiliki lebar pintu 2,2 meter, dengan pintu berjumlah 4 unit. Kapasitas pintu pengambilan 120% dari debit pembangkit atau 17,813 m³/detik.
 - Saluran pembawa berbentuk persegi yang memiliki lebar sebesar 3 meter, dengan tinggi muka air 1,74 meter. Kemiringan saluran pembawa 0,1% dengan panjang 15,59 meter.
 - Bak penenang memiliki lebar 6 meter dengan panjang 5,94 meter, dengan kapasitas bak penenang sebesar 213,8 m³.
 - Pipa pesat dengan berdiameter 2,25 meter dengan tebal pipa 11 milimeter.
 - Saluran pembuang berbentuk persegi dengan memiliki lebar 5 meter dengan tipe saluran terbuka.

5. Hasil analisa ekonomi menunjukkan bahwa PLTMH Sindupraja layak untuk dibangun, berikut adalah biaya pembangunan PLTMH Sindupraja dengan masing-masing metode analisa kelayakan ekonomi:
 - Biaya untuk pembangunan PLTMH Sindupraja sebesar Rp 12.766.574.177,03.
 - Besarnya nilai *Benefit Cost Ratio* sebesar 1,53. BCR > 1, layak ekonomi.
 - Besarnya nilai *Net Present Value* sebesar Rp 7.662.721.261,59. NPV > 0, layak ekonomi.
 - Besarnya *Internal Rate of Return* sebesar 10,94% sedangkan suku bunga yang digunakan adalah

6,50%, ($IRR (10,94\%) > MARR (6,50\%)$), layak ekonomi.

- Besarnya *Payback Periode* sebesar 7,45 atau sekitar 7 tahun untuk mengembalikan semua biaya yang telah dikeluarkan dalam investasi suatu proyek.
- Proyek ini sensitif apabila terjadi kenaikan suku bunga 10,94%, penurunan produksi listrik sampai 13,52%, biaya naik sebesar 18,70% dan apabila terjadi penurunan produksi listrik dan kenaikan biaya bersamaan sekitar 8% untuk penurunan produksi listrik dan 7,47% untuk kenaikan biaya.

Saran

Agar pembangkit listrik yang direncanakan dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama, maka perlu diperhatikan beberapa hal di bawah ini:

1. Kerja sama yang baik antara penduduk setempat dengan pengelola pembangkit listrik tenaga mikro hidro dalam hal memanfaatkan daya listrik yang dihasilkan sehingga daya tersebut dapat dimanfaatkan secara optimal.
2. Pengawasan dan pemeliharaan pembangkit listrik yang dilakukan

dalam jangka waktu tertentu, agar apabila terjadi kerusakan pada pembangkit dapat segera diadakan perbaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2009c. *Buku 2C Pedoman Studi Kelayakan Mekanikal Elektrikal*. Jakarta: Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.
- European Small Hydropower Association. 2004. *Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant Part I*. Belgium: ESHA
- Japan International Corporation Agency. [t.th.] . *Manual Pembangunan PLTMH*. [t.t.]. [t.p.]
- Kuiper, Edward. 1971. *Water Resources Project Economic*. Canada.
- Kodeatie, Robert J. 1995. *Analisa Ekonomi Teknik*. Yogyakarta: Andi.
- Pujawan, I Nyoman. 1995. *Ekonomi Teknik*. Yogyakarta: Liberty.
- Varshney, R. S. 1977. *Hidro Power Structures*: India.