

## ANALISIS STUDI KELAYAKAN TEKNIS DAN EKONOMIS PEMBANGUNAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MINIHIDRO (PLTM) STUDI KASUS : PLTM PRUKUT SAMBIRATA, KABUPATEN BANYUMAS, PURWOKERTO

Muhammad Iqball<sup>1</sup>, Haryono Putro<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Magister Teknik Sipil, Universitas Gunadarma

<sup>2</sup>Dosen Magister Teknik Sipil, Universitas Gunadarma

Corresponding author

E-mail: [iqballe1234@gmail.com](mailto:iqballe1234@gmail.com)



Diterima : 10/02/2021

Direvisi : 24/02/2021

Dipublikasi : 10/03/2021

**Abstrak:** Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi sumber daya air yang berlimpah dan bisa dimanfaatkan dalam berbagai hal, salah satunya adalah pengembangan sumber daya air menjadi sumber energi. Dengan memanfaatkan bangunan air yang sudah ada bisa dikembangkan menjadi unit pembangkit listrik dengan skala kecil (PLTM). Studi kelayakan diperlukan untuk mengidentifikasi potensi yang dapat dikembangkan. Studi berlokasi di Desa Karang tengah, Kecamatan Cilongok, Kabupaten Banyumas, Purwokerto dengan posisi Bendung berada pada koordinat 7o 20'28.22" LS dan 109o 08'8.25" BT dan Gedung Sentral pada 7o21'5.30" LS dan 109o07'57.19" BT. Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) direncanakan dengan memanfaatkan debit air sungai prukut. Studi ini menggunakan perhitungan F.J Mock, Nreca, dan Debit andalan untuk menghitung debit banjir dengan beberapa alternatif yaitu 65%, 70% dan 80% sebagai acuan untuk mendapatkan hasil yang optimum. Disamping itu juga menggunakan simulasi turbopro version 3 untuk memudahkan dalam perhitungan dimensi turbin dan besar daya yang akan dibangkitkan menggunakan data yang telah di analisis sebelumnya. Dari hasil kajian menunjukkan dengan debit desain sebesar 1.198 m<sup>3</sup>/dt (alternatif 65%) dapat dibangkitkan energi harian sebesar 20.882.79 kWh dengan besar daya turbin 907 kW. PLTM dibangun dengan komponen bangunan sipil (bangunan pengambilan (bendung, intake)), kolam pengendap pasir, saluran penghantar, bak penenang, pipa pesat (penstock), gedung sentral (powerhouse)) dan komponen peralatan mekanik elektrik seperti turbin dan generator. Dari perencanaan tersebut didapatkan biaya pembangunan sebesar 33.98 milyar rupiah dengan nilai Benefit Cost Ratio: 2.61, Net Present Value: Rp 54.92 milyar rupiah, Internal Rate of Return: 18.69 % dan Pay Back Period: 4.54 tahun, sehingga analisa pembangunan PLTM layak secara teknis dan ekonomi.

	<b>Kata Kunci:</b> Analisa Pembangunan, Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM), Studi Kelayakan
--	---

## PENDAHULUAN

Dalam usaha meningkatkan mutu hidup dan pertumbuhan ekonomi masyarakat pedesaan, energi memiliki peranan yang besar. Ketersediaan listrik di pedesaan baik yang dikelola swasta atau pemerintah, akan mendorong peningkatan produktivitas, sarana pendidikan dan kesehatan, dan menciptakan lapangan pekerjaan serta kegiatan ekonomi baru. Hanya saja pada saat ini baru sebagian kecil dari desa-desa di Indonesia dapat menikmati listrik, padahal potensi energi baru dan terbarukan cukup besar dan belum dimanfaatkan secara optimal. Pemanfaatan potensi energi tersebut perlu ditingkatkan sehingga sumbangannya terhadap pemenuhan kebutuhan energi di masa depan dapat lebih berarti terutama untuk daerah pedesaan dan daerah terpencil yang belum terjangkau jaringan distribusi energi komersial. Salah satu sumber energi terbarukan yang potensial adalah tenaga air, dalam bentuk Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) untuk pelistrikan desa.

Telah banyak studi lain yang dilakukan mengenai pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) maupun Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM). Pada beberapa studi ini menjelaskan bahwa ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan untuk Pembangunan PLTM, Faktor tersebut diantaranya didasarkan pada studi kelayakan teknis dan studi kelayakan sosial-ekonomi terhadap potensi alam dan sumber daya setempat. Keakuratan data hasil studi kelayakan akan menentukan keberhasilan pembangunan PLTM. Setelah studi selesai dilakukan tahap selanjutnya adalah detail desain untuk bangunan sipil dan sistem elektro-mekanikal, sistem kontrol, serta sistem transmisi dan distribusi. Perancangan teknik harus dilakukan secara tepat akurat, dengan menerapkan teknologi yang telah teruji agar pembangkit listrik mempunyai kehandalan yang baik. Setelah pembangunan PLTM selesai dilakukan, keberadaan PLTM tersebut diharapkan dapat menjadi salah satu faktor pemicu bagi pengembangan ekonomi masyarakat setempat.

Penelitian lainnya yang diterbitkan oleh International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) mengenai “Design of Micro - Hydro - Electric Power Station” membahas rancangan pembangkit listrik tenaga mikrohidro yang dirancang dengan tepat tanpa mengganggu lingkungan terutama terhadap sungai atau arus serta harus bisa hidup berdampingan dengan ekologi pribumi. Dalam buku berjudul “Hydroelectric Feasibility Study, An Assessment Of The Feasibility Of Generating Electric Power Using Urban Stormwater In Oregon City, Prepared For: Clackamas County Soil And Water Conservation District And Portland General Electric” menjelaskan bahwa Dunia kita membutuhkan sumber tenaga listrik yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Sehingga diperlukan kesadaran terhadap masyarakat untuk mengakhiri ketergantungannya pada bahan bakar fosil dan perlu menciptakan masa depan yang lebih cerah dan lebih berkelanjutan dengan memanfaatkan energi baru terbarukan. Di Indonesia saat ini sebagian besar kebutuhan energi listrik berasal dari sumber energi fosil. Hal ini menuntut kita mencari sumber energi alternatif yang bersih dan tidak terbatas untuk menghasilkan listrik.

Solusi Energi Terbarukan menjadi jawaban terhadap permintaan kebutuhan pembangunan desa di Indonesia, serta mempromosikan solusi praktis dan berkelanjutan yang bisa langsung

diadopsi oleh masyarakat pedesaan yang menjadi prioritas bagi bangsa Indonesia. Tantangan yang ada di hadapan kita adalah memastikan bahwa masyarakat pedesaan memiliki akses yang cukup terhadap banyak pilihan teknologi energi terbarukan sebelum mereka memutuskan untuk menggunakannya, di mana mereka ingin ikut berinvestasi untuk melakukan diversifikasi energi lebih lanjut, yang menawarkan peluang lebih luas kepada mereka untuk meningkatkan mata pencahariannya.

Pemanfaatan Energi Terbarukan yaitu tenaga air diharapkan mampu mengoptimalkan energi untuk membangkitkan tenaga listrik untuk menekan penggunaan bahan bakar minyak yang harganya cenderung meningkat dan juga cadangannya semakin kecil. Studi penelitian ini bertujuan untuk menganalisa kelayakan teknis dan ekonomis dari perencanaan pembangkit listrik tenaga minihidro dengan memanfaatkan debit air terjun dan tinggi jatuhnya air sebagai upaya meningkatkan produksi energi listrik untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang meningkat.

## **KAJIAN PUSTAKA**

### **A. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Air**

#### **Debit Andalan**

Perhitungan debit andalan dengan cara empiris untuk desain bangunan air di Indonesia umumnya menggunakan beberapa metode, yaitu metode F.J. Mock dan NRECA. Analisis debit dari kedua metode tersebut direkomendasikan berdasarkan tingkat empiris, ketepatan hasil dan kemudahan perhitungan. Berdasarkan pengalaman lapangan, Metode F.J. Mock (1973) merupakan metode yang direkomendasikan untuk mendukung desain. Analisis keseimbangan air untuk menghitung harga debit bulanan berdasarkan transformasi data curah hujan bulanan, evapotranspirasi, kelembaban tanah dan tampungan air tanah. Metode empiris tersebut digunakan apabila terdapat catatan debit sungai yang hilang. Metode NRECA dikembangkan untuk menganalisis debit air berdasarkan curah hujan yang bertujuan untuk pembangkit listrik. Debit airan yang masuk ke dari daerah tangkapan air berasal dari curah hujan. Sebagian dari curah hujan menguap dan sebagian lainnya turun mencapai permukaan tanah. Cara outlet ini sesuai untuk daerah tangkapan air yang cekung dimana mempunyai karakteristik setelah hujan usai, masih terdapat aliran hingga beberapa waktu.

#### **Debit Banjir**

Analisa debit banjir dalam studi ini terdiri atas analisa hujan dan analisa banjir. Tujuan akhir dari analisa debit banjir adalah untuk menentukan besarnya debit banjir rencana dengan periode ulang tertentu yang akan digunakan dalam perencanaan bangunan hidrolika untuk sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro. Dalam Analisis Frekuensi, Hujan rencana merupakan kemungkinan tinggi hujan yang terjadi dalam kala ulang tertentu sebagai hasil dari suatu rangkaian analisis hidrologi yang biasa disebut analisis frekuensi. Analisis frekuensi merupakan prakiraan (forecasting) dalam arti probabilitas untuk terjadinya suatu peristiwa hidrologi dalam bentuk hujan rencana yang berfungsi sebagai dasar perhitungan perencanaan hidrologi untukantisipasi setiap kemungkinan yang akan terjadi.

Analisis frekuensi ini dilakukan dengan menggunakan sebaran kemungkinan teori probability distribution dan yang biasa digunakan adalah metode Gumbel tipe I, metode Log Pearson tipe III, serta metode Normal. Secara sistematis metode analisis frekuensi perhitungan hujan rencana ini dilakukan secara berurutan sebagai berikut : Parameter statistic, Pemilihan jenis sebaran. Uji kecocokan sebaran, Plotting data, dan Perhitungan hujan

rencana.

### Debit Banjir Rencana

Metode-metode yang digunakan untuk mencari nilai debit banjir rencana sebagai dasar perencanaan konstruksi menggunakan metode rasional.

$$Q = 0,278 C \cdot I \cdot A$$

### B. Desain dan Engineering

Setiap lokasi mikhidro memiliki aspek hidrologi, topografi dan kondisi alam yang berbeda sehingga tidak ada standar desain untuk fasilitas teknik sipil. Pada batas-batas tertentu dapat digunakan desain yang hampir sama untuk beberapa lokasi minihidro dengan melakukan modifikasi pada beberapa bagian yang dianggap perlu.

### Bendungan dan Intake

Untuk menghitung bukaan pada pintu intake dapat menggunakan persamaan :

$$Q = \mu b a \sqrt{2 g z}$$

#### a. Elevasi Mercu Bendung

Elevasi mercu bendung ditentukan berdasarkan muka air rencana pada bangunan sadap. Disamping itu kehilangan tinggi energi perlu ditambahkan untuk alat ukur, pengambilan, saluran primer dan pada kantong lumpur.

#### b. Lebar Efektif Bendung

Lebar rata-rata sungai yang stabil atau lebar rata-rata muka air banjir tahunan sungai yang bersangkutan atau diambil lebar maksimum bendung tidak lebih dari 1,2 kali lebar rata-rata sungai pada ruas yang stabil. Berikut adalah persamaan lebar bendung:

$$B_e = B - 2 \times (n \times K_p + K_a) \times H_1$$

#### c. Tinggi Muka Air Banjir di Atas Mercu Bendung

Persamaan tinggi energi di atas mercu ( $H_1$ ) menggunakan rumus debit bendung dengan mercu bulat, yaitu :

$$Q = C_d \times \frac{2}{3} \times \sqrt{\frac{2}{3} g} \times B_e \times H_1^{1.5}$$

#### d. Tinggi Muka Air Banjir di Hilir Bendung

Perhitungan dilakukan dengan rumus, sebagai berikut :

$$V = c \times \sqrt{R \times I}$$

#### e. Penentuan Dimensi Mercu Bulat

Tipe mercu untuk Benduna Susukan ini menggunakan tipe mercu bulat. Sehingga besar jari-jari mercu bendung ( $r$ ) =  $0,1H_1 - 0,7 H_1$ .

#### f. Tinjauan Gerusan di Hilir Bendung

Untuk menghitung kedalaman gerusan digunakan metode Lacey.

$$R = 0,47 \times \left( \frac{Q}{f} \right)^{\frac{1}{3}} \text{ dengan } f = 1,76 Dm^{1/2}$$

Menurut Lacey, kedalaman gerusan bersifat empiris, maka dalam penggunaannya dikalikan dengan angka keamanan sebesar 1,5.

g. Tinjauan Backwater di Hulu Bendung

Perhitungan backwater bertujuan untuk mengetahui peninggian muka air pada bagian hulu akibat pembangunan bendung, sehingga dapat menentukan tinggi tanggul yang harus dibuat. Dengan diketahuinya muka air di hulu bendung maka dapat ditentukan :

$$E_1 + S_0 + \Delta X = E_2 + S_f + \Delta X \quad \text{Atau} \quad \Delta X = \frac{E_2 - E_1}{S_0 - S_f}$$

Dimana :

$$S_f = \frac{Q^2}{c^2 \times A^2 \times R} \quad \text{dan} \quad \underbrace{\Delta z + y_1 + \frac{v_1^2}{2g}}_{E_1} = \underbrace{y_2 + \frac{v_2^2}{2g}}_{E_2} + hf$$

**Saluran Pembawa (*Head Race*) dan Pipa Pesat**

Saluran pembawa (*head race*) menyalurkan air dari intake sampai ke bak penenang, atau tempat mulainya pipa pesat (*penstock*). Saluran pembawa dapat berupa saluran terbuka, saluran tertutup atau terowongan.

a. Diameter Pipa Pesat

Diameter ekonomis pipa pesat dapat dihitung dengan persamaan:

1) Sarkaria formula:

$$D = 3,55 \cdot \left( \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot H} \right)^{0,25}$$

2) ESHA formula :

$$D = \left( \frac{10,3 \cdot n^2 \cdot Q^2}{h \cdot f} \right)^{0,1875}$$

3) Doland formula :

$$D = 0,176 \cdot \left( \frac{P}{H} \right)^{0,466}$$

4) Fahlbuch formula :

$$D = 0,52 \cdot H^{-1/7} \cdot \left( \frac{P}{H} \right)^{3/7}$$

5) Gisalssous formula :

$$D = Q^{0,4}$$

b. Tebal Pipa Pesat

Tebal pipa pesat dapat dihitung dengan persamaan:

1) Technical standart for *penstock* and *gate*:

$$t = \left( \frac{D + 800}{400} \right)$$

2) USBR :

$$t = \left( \frac{D + 500}{400} \right)$$

3) ESHA :

$$e = \left( \frac{PD}{(2 \cdot \sigma \cdot kf) + (es)} \right)$$

c. Kedalaman Minimum Pipa Pesat

Kedalaman minimum akan berpengaruh terhadap gejala *vortex*, kedalaman minimum dapat dihitung dengan persamaan (Penche,2004:120):  $H_t > s$

$$s = c \cdot V \cdot \sqrt{D}$$

### Bangunan Pembuang

Tinggi Jatuh Efektif

Tinggi jatuh efektif adalah selisih antara elevasi muka air pada bangunan pengambilan atau waduk (EMAW) dengan tail water level (TWL) dikurangi dengan total kehilangan tinggi tekan (Ramos, 2000:57).

Kehilangan tinggi mayor dihitung dengan persamaan Darcy Wisbach (Penche,2004:38):

$$hf = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

sedangkan kehilangan minor dihitung dengan persamaan (Ramos, 2000:64):

$$hf = \xi \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

### Kolam Pengendap (*Settling Basin*)

Kolam ini biasanya dibuat dengan memperdalam sebagian saluran penghantar dan menambahnya dengan saluran penguras. Fungsinya adalah untuk mengendapkan pasir dan menyaring kotoran yang hanyut sehingga air yang masuk ke turbin akan relatif bersih.

$$\frac{H}{w} = \frac{L}{v}, \text{ dengan } v = \frac{Q}{HB}$$

Metode Mosonyi

Menghitung kecepatan kritis butir dengan persamaan :

$$v = a \sqrt{d}$$

Dengan

v = kecepatan kritis butiran (cm/det)

a = 44 bila  $1 \text{ mm} > d > 0,1 \text{ mm}$

d = diameter butiran (mm)

$$L = \frac{H v}{(w - w')}$$

Dengan asumsi  $w = 0.07$  dan  $a = \frac{0.132}{\sqrt{H}}$

### Bak Penenang (*Forebay Tank*)

Saluran penghantar akan berujung pada bak penenang yang berfungsi untuk menyaring akhir dan untuk mereduksi arus turbulensi air serta kemudian mengarahkannya untuk masuk ke pipa pesat sesuai dengan debit yang diinginkan, kolam atas ini harus dibuat dengan konstruksi beton

Dimensi bak penenang dapat dihitung sebagai berikut :

- a. Tinggi tenggelam pipa pesat

$$V = 0,125 \times \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

$$A = \frac{Q_{\text{desain}}}{V}$$

$$D = \sqrt{A \cdot \frac{4}{\pi}}$$

Untuk sumbu pipa pesat sejajar dengan aliran :

$$S = 0,54 \times V \times D^{0,5}$$

- b. Lebar Bak Penenang

$$B = \frac{Q}{S \times V}$$

- c. Panjang Bak Penenang

$$t = \frac{S}{W}$$

$$L = V \times t$$

- d. Losses

$$\text{Kehilangan energi akibat pelebaran : } Z = K \times \frac{(V_1 - V_2)^2}{2 \times g}$$

### Rumah Pembangkit (*Powerhouse*)

*Powerhouse* ini merupakan rumah pembangkit, didalamnya terdapat turbin dan generator yang selalu mendapat beban dinamis dan selalu bergetar. Dalam merencanakan *powerhouse*, perlu dipikirkan keleluasaan bongkar pasang turbin generator, karena bisa dipastikan setiap tahun turbin air harus diperiksa, artinya akan dibongkar secara berkala untuk perawatan.

## C. Fasilitas Mechanical dan Electrical

### Turbin Hidraulik

Turbin air berperan untuk mengubah energi air (energi potensial, tekanan dan energi kinetik) menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros. Putaran poros turbin ini akan diubah oleh generator menjadi tenaga listrik. Berdasarkan prinsip kerjanya, turbin air dibagi menjadi dua kelompok .

- a. Turbin implus (cross-flow, pelton & turgo)

Untuk jenis ini, tekanan pada setiap sisi sudu gerak runnernya pada bagian turbin yang berputar sama.

b. Turbin reaksi (francis, kaplan propeller)

Untuk jenis ini, digunakan untuk berbagai keperluan (wide range) dengan tinggi terjun menengah (medium head).

Pada dasarnya daerah kerja operasi turbin menurut Keller dikelompokkan menjadi:

- 1) Low head powerplant dengan tinggi jatuhan air (head)
- 2) Medium head powerplant dengan tinggi jatuhan antara low head dan high head.
- 3) High head powerplant dengan tinggi jatuhan air yang memenuhi persamaan
- 4)  $H > 100 (Q)$

Dalam perencanaan turbin parameter yang mendasari adalah kecepatan spesifik turbin ( $N_s$ ) dan kecepatan putar/sinkron ( $n$ ) dimana kedua parameter tersebut dihitung dengan persamaan (USBR,1976: 14):

$$N_s = n \cdot \frac{\sqrt{P}}{H^{5/4}} \text{ dengan } n = \frac{120f}{P}$$

nilai  $n$  bisa didapatkan dengan melakukan nilai coba-coba dengan persamaan:

Untuk turbin francis:

Untuk turbin propeller :

$$n' = \frac{2334}{\sqrt{H}} \text{ atau } n' = \frac{1553}{\sqrt{H}}$$

$$n' = \frac{2088}{\sqrt{H}} \text{ atau } n' = \frac{2702}{\sqrt{H}}$$

c. Titik pusat dan kavitasi pada turbin

Titik pusat perlu diletakkan pada titik yang aman sehingga terhindar dari bahaya kavitasi. Kavitasi akan terjadi bila nilai  $\sigma$  aktual  $<$   $\sigma$  kritis, dimana nilai  $\sigma$  kritis dapat dihitung dengan persamaan (USBR,1976: 22):

$$\sigma_c = \frac{N_s^{1.64}}{50327}$$

$$H_s = H_a - H_v - H\sigma$$

Sedangkan titik pusat turbin dapat dihitung dengan persamaan:

$$Z = twl + H_s + b$$

d. Dimensi Turbin

Dimensi turbin reaksi meliputi dimensi runner turbin, dimensi wicket gate, dimensi spiral case dan dimensi draft tube.

e. Effisiensi Turbin

Effisiensi turbin sangat tergantung pengaruh dari debit aktual dalam turbin dengan debit desain turbin ( $Q/Q_d$ ).

### Transmisi Daya Mekanik

Transmisi daya bertujuan untuk menyalurkan daya poros turbin ke poros generator. Elemen-elemen transmisi daya yang digunakan terdiri dari: sabuk (*belt*), *pulley*, kopling, bantalan (*bearing*) dan *cone clamp*.

### Sistem Kontrol

Frekuensi dan tegangan listrik yang dihasilkan oleh generator dipengaruhi oleh kecepatan putar generator. Perubahan kecepatan putar generator akan menimbulkan perubahan frekuensi dan tegangan listrik. Tujuan pengontrolan dalam mikrohidro adalah untuk menjaga sistem elektrik dan mesin agar selalu berada pada daerah kerja yang diperbolehkan. Semua peralatan listrik didesain untuk beroperasi pada frekuensi dan tegangan tertentu. Bila beroperasi pada frekuensi dan tegangan yang berbeda dapat mengakibatkan peralatan listrik cepat rusak.

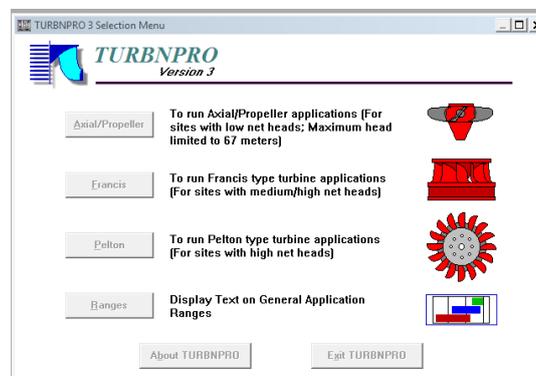
## Generator

Generator adalah suatu peralatan yang digunakan untuk mengubah energi mekanik yaitu energi putar dari poros turbin menjadi energi listrik. Output generator ditunjukkan dengan kVA dan dihitung dengan Persamaan berikut:

$$P_g (\text{kVA}) = (\rho \times g \times Q \times H \times \eta) / pf$$

## Simulasi Turbnpro V3

Dalam penelitian ini menggunakan software simulasi turbnpro version 3 untuk memudahkan dalam perhitungan dimensi turbin dan besar daya yang akan dibangkitkan menggunakan data yang telah di analisis sebelumnya.



**Gambar 1. Tampilan Umum Turbnpro V3**  
Sumber : Software Turbnpro V3

## D. Analisa Pembangkitan Energi

Produksi energi tahunan dihitung berdasarkan tenaga andalan. Tenaga andalan dihitung berdasarkan debit andalan yang tersedia untuk pembangkitan energi listrik yang berupa debit outflow dengan periode n harian. (arismunandar, 2005:19)

$$E = 9,8 \times H \times Q \times \eta_g \times \eta_t \times 24 \times n$$

## E. Analisa Kelayakan Ekonomi

### Analisis *Benefit Cost Ratio*

Apabila didapatkan hasil  $BCR > 1$ , maka proyek layak untuk dilaksanakan, dan sebaliknya apabila  $BCR < 1$ , maka proyek harus dibatalkan.

### Analisis *Net Present Value*

---

Apabila didapatkan hasil NPV  $> 0$ , maka proyek layak untuk dilaksanakan, dan sebaliknya apabila NPV  $< 0$ , maka proyek harus dibatalkan atau dilakukan rekayasa pendahuluan untuk mendapatkan kelayakan yang sesuai analisis.

#### ***Analisis Internal Rate of Return***

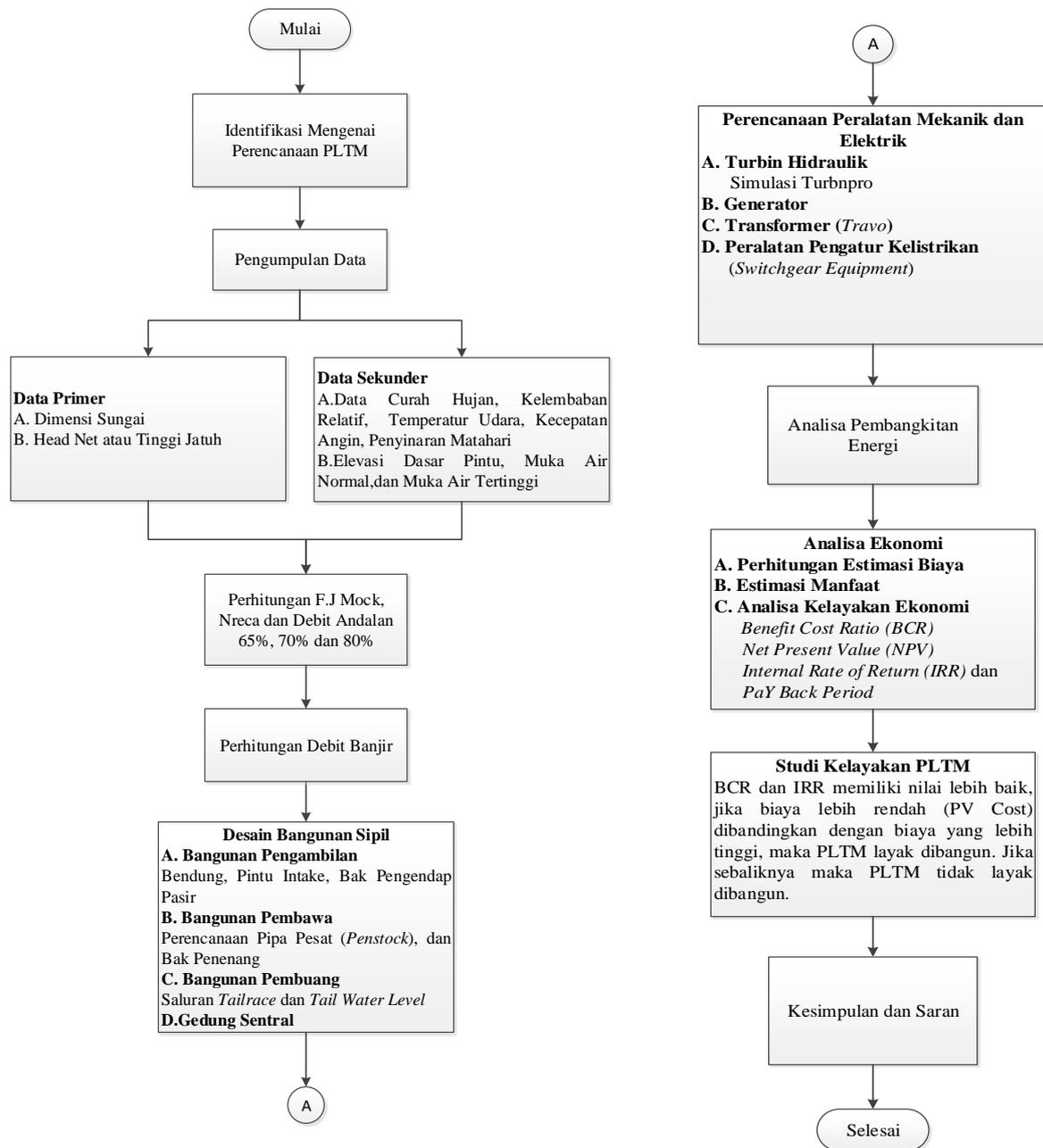
Apabila didapatkan hasil IRR  $>$  suku bunga yang ditetapkan Bank Indonesia atau bank donor, maka konstruksi PLTM layak untuk dilaksanakan. Sebaliknya apabila IRR  $<$  suku bunga yang berlaku, maka konstruksi PLTMH harus dibatalkan atau dilakukan rekayasa pendahuluan untuk mendapatkan kelayakan yang sesuai analisis. Secara umumnya tingkat suku bunga yang digunakan di analisis ekonomi dalam usulan proyek yang ditentukan lembaga keuangan internasional berkisar antara 8 % sampai dengan 12 %.

#### ***Analisis Pay Back Period***

*Pay Back Period* merupakan jangka waktu yang dibutuhkan untuk pengembalian investasi dimana jumlah keuntungan yang didapat dari suatu proyek sama dengan investasi total yang ditanamkan setelah dikoreksi oleh nilai waktu uang. Investasi mempunyai prestasi baik bila periode pengembaliannya pendek

## **METODE PENELITIAN**

Gambar 2 Alur Penelitian Studi Kelayakan Teknis Dan Ekonomis Pembangunan PLTM (Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro)



Gambar 2 Alur Penelitian Studi Kelayakan Teknis Dan Ekonomis Pembangunan PLTM

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Air

**Tabel 1. Debit Andalan Sungai Prukut (m<sup>3</sup>/det)**

Tahun	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agst	Sep	Okt	Nov	Des
1999	2.30	2.56	2.80	1.33	1.83	0.69	0.86	0.49	0.39	2.53	2.14	2.83
2000	2.64	2.80	2.96	1.57	0.94	0.55	0.32	0.51	0.71	3.82	3.30	2.84
2001	3.71	2.29	2.55	2.76	2.24	2.35	1.90	0.81	1.99	6.59	3.61	1.87
2002	2.86	1.32	1.88	1.67	0.77	0.61	0.36	0.19	0.14	0.52	2.72	3.12
2003	2.81	2.92	2.92	2.49	1.22	0.68	0.38	0.23	0.72	3.44	3.59	2.59
2004	2.28	2.81	2.40	1.90	1.53	0.82	1.29	0.49	0.79	0.94	3.92	5.56
2005	2.17	2.37	2.69	2.47	1.43	2.39	1.29	0.84	1.92	3.96	3.19	2.75
2006	3.24	2.97	2.34	2.08	1.35	0.88	0.47	0.27	0.17	0.10	0.06	2.28
2007	0.88	2.23	0.39	0.24	0.85	0.89	0.32	0.19	0.12	0.67	1.81	2.78
2008	1.38	1.60	2.57	1.56	0.95	0.63	0.31	0.30	0.50	3.27	2.65	2.12
Rata-rata	2.43	2.39	2.35	1.81	1.31	1.05	0.75	0.43	0.75	2.58	2.70	2.87

Sumber : Hasil Perhitungan

**Tabel 2. Debit Andalan**

Keandalan (%)	Debit Andalan (m <sup>3</sup> /det)
50	2.590
55	2.488
60	2.368
65	2.283
70	2.169
75	1.904
80	1.810
85	1.381
90	0.939
95	0.692
100	0.060

Sumber : Hasil Perhitungan

## B. Desain dan Engineering

**Tabel 3. Parameter Desain Dasar**

Parameter	Satuan	Besar
Debit rencana (Q <sub>65%</sub> )	m <sup>3</sup> /detik	2.2832055
Debit Desain (Q <sub>65%</sub> x 1,05)	m <sup>3</sup> /detik	2.3973658
Debit rencana (Q <sub>70%</sub> )	m <sup>3</sup> /detik	2.1685607
Debit Desain (Q <sub>70%</sub> x 1,05)	m <sup>3</sup> /detik	2.2769888
Debit rencana (Q <sub>80%</sub> )	m <sup>3</sup> /detik	1.810327
Debit Desain (Q <sub>80%</sub> x 1,05)	m <sup>3</sup> /detik	1.9008434
Debit banjir 50 tahunan	m <sup>3</sup> /detik	490.60
Elevasi dasar Sungai di rencana bendung	El., m	+601,43
Lebar Sungai di Rencana Bendung	m	25

Sumber : Hasil Perhitungan

### Elevasi Mercu Bendung

Perhitungan elevasi bendung :

- Elevasi saluran suplesi beseran = +602.88
- Kehilangan pada pintu inlet = 0,10 m
- Kehilangan oleh slope saluran = 0,10 m
- Keamanan = 0,095 m

- e. Elevasi mercu bendung = +603.175  
Dari data dan perhitungan di atas maka didapat data perencanaan :
- a. Elevasi mercu bendung = +603.175  
b. Elevasi dasar sungai = +601.43  
c. Tinggi mercu bendung = 1.745 m

### Lebar Efektif Bendung

$$Be = B - 2 \times (n \times Kp + Ka) \times H_1$$

$$Be = 25 - 2 \times (1 \times 0,01 + 0,2) \times H_1$$

$$Be = 25 - 0,42 H_1$$

### Tinggi Muka Air Banjir di Atas Mercu Bendung

$$Q = Cd \times \frac{2}{3} \times \sqrt{\frac{2}{3} g} \times Be \times H_1^{1.5}$$

$$490,6 = 1,33 \times \frac{2}{3} \times \sqrt{\frac{2}{3} \times 9,8} \times (25 - 0,42 H_1) \times H_1^{1.5}$$

$$216,471 = 25 H_1^{1.5} - 0,42 H_1^{2.5}$$

Dengan cara coba-coba diperoleh  $H_1 = 4,44$

$$Be = 25 - 0,42 H_1$$

$$Be = 25 - 0,42 \times 4,44 = 23.135$$

Elevasi muka air banjir = elevasi mercu +  $H_1 = +606.43 + 4,44 = +610,87$

Untuk menentukan tinggi air di atas mercu dapat dicari dengan persamaan :

$$H_d = H_1 - k$$

$$k = \frac{v^2}{2g} \text{ dengan } v = \frac{Q}{Be \times H_1} = \frac{490,6}{23.135 \times 4.44} = 4.77 \text{ m/det}$$

$$k = \frac{4.77^2}{2 \times 9,8} = 1.16 \text{ m}$$

Jadi tinggi air mercu adalah :  $H_d = 4.44 - 1.16 = 3.28 \text{ m}$

### Tinggi Muka Air Banjir di Hilir Bendung

$$V = c \times \sqrt{R \times I}$$

$$V = \frac{87}{1 + \frac{1,5}{\sqrt{\frac{25h + 0.5h^2}{25 + 2.236h}}}} \times \sqrt{\frac{25h + 0.5h^2}{25 + 2.236h} \times 0.001}$$

**Tabel 4. Perhitungan h**

h	A	P	R	C	V	Q
1.5	38.625	28.354	1.362242	38.07139	1.40516	54.27431
2	52	29.472	1.764387	40.85924	1.716276	89.24636
2.5	65.625	30.59	2.145309	42.98187	1.990812	130.647
3	79.5	31.708	2.507254	44.67702	2.237089	177.8486
3.5	93.625	32.826	2.85216	46.07595	2.460714	230.3844
4	108	33.944	3.181711	47.25867	2.665704	287.896
4.5	122.625	35.062	3.497376	48.27743	2.85506	350.1018
5	137.5	36.18	3.800442	49.16813	3.031103	416.7767
5.5	152.625	37.298	4.092042	49.95644	3.195667	487.7387
5.51	152.9301	37.32036	4.097765	49.9713	3.198852	489.2006
5.52	153.2352	37.34272	4.103483	49.98613	3.202033	490.6642

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan perhitungan didapat h = 5.52 m  
Elevasi dasar sungai = +601.43  
Elevasi muka air di hilir bendung = +601.43 + 5.52 = +606.9

### Penentuan Dimensi Mercu Bulat

r = 0,2 H1  
= 0,2\*4,44 = 0,888 m

### Tinjauan Terhadap Gerusan

Perhitungan :

$$A = B_e \times H_d = 23.135 \times 3.28 = 75.795$$

$$V_{\text{rata-rata}} = \frac{Q}{A} = \frac{490,6}{75.795} = 6.47 \text{ m/det}$$

$$f = 1,76 \times (D_m)^{0.5}$$

$$D_m \quad f = 1,76 \times (0,4)^{0.5} = 1,113$$

$$R = 0,47 \times \left( \frac{Q}{f} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$R = 0,47 \times \left( \frac{490,6}{1,113} \right)^{\frac{1}{3}} = 3,577 \text{ m}$$

Dengan angka keamanan S = 1,5 maka : R = 1,5 \* 3,577 = 5,366 m

Berdasarkan perhitungan kedalaman gerusan maka bila dibandingkan, kedalaman pondasi bendung = 5.52 > 5.366 m, sehingga konstruksi aman terhadap gerusan.

$$\text{Tebal lapisan batu kosong : } 3 \times d = 3 \times 0,4 = 1,2 \text{ m}$$

$$\text{Panjang apron} = 6 (5.52 - 5,366) = 0.928 \text{ m}$$

### Tinjauan Terhadap Backwater

$$y_c = \sqrt{\frac{Q^2 (B + m \times y_n)}{g (B + m \times y_n)^3}}$$

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{490,6^2 (25 + y_n)}{9,81 (25 + y_n)^3}}$$

$$y_c = 3.14 \text{ m}$$

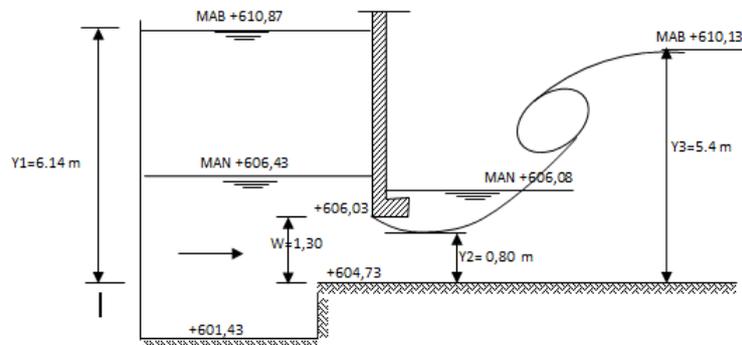
### Bangunan Pengambilan (Intake)

$$Q = \mu b a \sqrt{2 g z}$$

Tabel 5. Perhitungan Bukaank Pintu Intake

Debit	a (m)	b (m)	$\mu$	$\Delta H$ (m)	Q (m <sup>3</sup> /dtk)
Q 65%	1.3	1.1	0.8	0.20	2.265004
Q 70%	1.3	1.1	0.8	0.18	2.148772
Q 80%	1.3	1.1	0.8	0.13	1.826105

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 5. Potongan Memanjang Bangunan Pengambilan

### Kolam Pengendap Pasir

Debit Rencana  $Q_{65\%}$  = 2.283205 x 1.2 = 2.739847

Kedalaman rencana  $Q_{65\%}$  = 2 m

Lebar rencana  $Q_{65\%}$  = 3 m

$$v = \frac{Q}{HB}$$

$$v = \frac{2.739847}{2 \times 3} = 0.456641 \text{ m/detik}$$

Metode Mosonyi

$$v = a \sqrt{d}$$

$$v = 44 \sqrt{0.5}$$

$$v = 31.1127 \text{ cm/detik} = 0.311127 \text{ m/detik}$$

Menghitung panjang bak pengendap dengan persamaan :

$$a = \frac{0.132}{\sqrt{H}}$$

$$a = \frac{0.132}{\sqrt{2}}$$

$$a = 0.093338$$

$$w' = a \times v$$

$$w' = 0.093338 \times 0.301$$

$$w' = 0.042622$$

Dengan asumsi  $w = 0.07$ , maka L (Panjang Bak Pengendap)

$$L = \frac{H v}{(w - w')}$$

$$L = \frac{2 \times 0.456641}{(0.07 - 0.042622)}$$

$$L = 33.35826 \text{ m} = 34 \text{ m}$$

**Tabel 6. Dimensi Kolam Pengendap Pasir**

Debit	v = (Q/HB)	v = a x (d <sup>0.5</sup> )	a	w'	L (m)	L' (m)
Q <sub>65%</sub>	0.4566411	0.311126984	0.093338	0.04262201	33.35826	34.00
Q <sub>70%</sub>	0.4297544	0.311126984	0.093338	0.04011245	28.75809	29.00
Q <sub>80%</sub>	0.365221	0.311126984	0.034089	0.03408903	20.34036	21.00

Sumber : Hasil Perhitungan

### Bak Penenang

a. Tinggi tenggelam pipa pesat

$$V = 0,125 \times \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

$$A = \frac{Q_{\text{desain}}}{V}$$

$$D = \sqrt{A \cdot \frac{4}{\pi}}$$

Untuk sumbu pipa pesat sejajar dengan aliran :  $S = 0,54 \times V \times D^{0,5}$

$$V = 0,125 \times \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 85.54}$$

$$V = 5.12 \text{ m/det}$$

$$Q_{65\% \text{ desain}} = 1,05 \times 2.2832055 = 2.3973658 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$Q_{70\% \text{ desain}} = 1,05 \times 2.1685607 = 2.2769888 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$Q_{80\% \text{ desain}} = 1,05 \times 1.810327 = 1.9008434 \text{ m}^3/\text{det}$$

**Tabel 7. Perhitungan D**

Debit	Q Desain	V	A	D
Q <sub>65%</sub>	2.3973658	5.12	0.46816	0.772 m
Q <sub>70%</sub>	2.2769888	5.12	0.44465	0.753
Q <sub>80%</sub>	1.9008434	5.12	0.3712	0.634

Sumber : Hasil Perhitungan

Dicoba dengan  $V = 3,0 \text{ m/det}$

**Tabel 8. Tinggi Tenggelam Pipa Pesat**

Debit	A	D	D'	A	V	S''	Tinggi Tenggelam (S) = S'' + D'
Q <sub>65%</sub>	0.79912	1.008	1,10	0.8635	2.77634	1.5724	2.6724
Q <sub>70%</sub>	0.75899	0.9668	1,00	0.785	2.90062	1.56634	2.56634
Q <sub>80%</sub>	0.63361	0.89842	0,90	0.7065	2.69051	1.37832	2.27832

Sumber : Hasil Perhitungan

b. Lebar Bak Penenang

$$B = \frac{Q}{S \times V}$$

**Tabel 9. Lebar Bak Penenang**

Debit	Q Desain	S	V	B	B'
Q65%	2.3973658	2.6724	0,2	4.48541	4.5
Q70%	2.2769888	2.56634	0,2	4.43625	4.5
Q80%	1.9008434	2.27832	0,2	4.17159	4.2

Sumber : Hasil Perhitungan

c. Panjang Bak Penenang

$$t = \frac{S}{W} \quad L = V \times t$$

**Tabel 10. Panjang Bak Penenang**

Debit	S	W	t	L	L'
Q65%	2.6724	0,029	92,15	18,43	18.5
Q70%	2.56634	0,029	88,49	17,69	18
Q80%	2.27832	0,029	78.56	15.71	16

Sumber : Hasil Perhitungan

**Tabel 11. Dimensi Efektif Bak Penenang**

Debit	S	B'	L
Q65%	2.6724	4.5	18.5
Q70%	2.56634	4.5	18
Q80%	2.27832	4.2	16

Sumber : Hasil Perhitungan

d. Losses

$$Z = K \times \frac{(V_1 - V_2)^2}{2 \times g} \quad Z = 0,4 \times \frac{(0,95 - 0,2)^2}{2 \times 9,81} \quad Z = 0,011 \text{ m}$$

K : koefisien sudut (0,4)

V1: kecepatan sebelum pelebaran (0,95 m/det)

V2: kecepatan aliran di bak penenang (0,20 m/det)

g : percepatan gravitasi (9,81 m/det<sup>2</sup>)

### Pipa Pesat (Penstock)

Gross Head = 91 m

Nett Head = Gross Head – (Gross Head x 6%)

Nett Head = 91 – (91 x 0.06) = 85.54 m

**Tabel 12. Q Desain Masing-Masing Turbin**

Debit	Q Desain	Q masing-masing turbin
Q65%	2.3973658	1.198683
Q70%	2.2769888	1.138494
Q80%	1.9008434	0.950422

Sumber : Hasil Perhitungan

Sarkaria formula:

$$D = 3,55. \left( \frac{Q^2}{2.g.H} \right)^{0,25}$$

**Tabel 13. Perhitungan Sarkaria Formula**

Keterangan	Q 65%	Q 70%	Q 80%
Debit Desain	2.397365759	2.277076486	1.900843396
Debit tiap pipa pesat	1.198682879	1.138538243	0.950421698
Diameter pipa (D)	0.607244293	0.59181382	0.540716301
Luas Penampang (A)	0.289465321	0.274941224	0.229513682
Kecepatan (V)	4.141024134	4.141024134	4.141024134

Sumber : Hasil Perhitungan

ESHA formula :

$$D = 2.69 \left( \frac{n^2 Q^2 L}{H} \right)^{0,1875}$$

**Tabel 14. Perhitungan ESHA Formula**

Keterangan	Q 65%	Q 70%	Q 80%
Debit Desain	2.397365759	2.277076486	1.900843396
Debit tiap pipa pesat	1.198682879	1.138538243	0.950421698
Diameter pipa (D)	0.83692402	0.820922724	0.767168121
Luas Penampang (A)	0.549846825	0.529022584	0.462009337
Kecepatan (V)	2.180030554	2.152154327	2.057148249

Sumber : Hasil Perhitungan

Doland formula :

$$D = 0,176. \left( \frac{P}{H} \right)^{0,466}$$

**Tabel 15. Perhitungan Dolland Formula**

Keterangan	Q 65%	Q 70%	Q 80%
Debit Desain	2.397365759	2.277076486	1.900843396
Debit tiap pipa pesat	1.198682879	1.138538243	0.950421698
Diameter pipa (D)	0.505077413	0.482020514	0.443115095
Luas Penampang (A)	0.200256007	0.182389864	0.154135525
Kecepatan (V)	5.985752435	6.242332868	6.166143058

Sumber : Hasil Perhitungan

Fahlbuch Formula :

$$D = 0,52. H^{-1/7} . \left( \frac{P}{H} \right)^{3/7}$$

**Tabel 16. Perhitungan Fahlbuch Formula**

Keterangan	Q 65%	Q 70%	Q 80%
Debit Desain	2.397365759	2.277076486	1.900843396
Debit tiap pipa pesat	1.198682879	1.138538243	0.950421698
Diameter pipa (D)	0.77467915	0.742094658	0.686824691

Luas Penampang (A)	0.471100312	0.432303018	0.370306603
Kecepatan (V)	2.544432362	2.633657864	2.56658048

Sumber : Hasil Perhitungan

Gisalsous formula :

$$D = Q^{0.4}$$

**Tabel 17. Perhitungan Gisalsous formula**

Keterangan	Q 65%	Q 70%	Q 80%
Debit Desain	2.397365759	2.277076486	1.900843396
Debit tiap pipa pesat	1.198682879	1.138538243	0.950421698
Diameter pipa (D)	1,07518134	1,05326838	0,979865658

Sumber : Hasil Perhitungan

**Tabel 18. Diameter pipa pesat untuk  $Q_{65\%}$**

No	Metode	Diameter	Luas	Kecepatan
1	Sakaria	0.61	0.29	4.14
2	Pence celso	0.84	0.55	2.18
3	Gisalsous	1.08	0.91	1.32
4	Fahlbuch	0.77	0.47	2.54
5	Dolland	0.51	0.20	5.99
6	Coba-coba	0.85	0.57	2.11
7	Rata-rata	0.77	0.47	2.54

Sumber : Hasil Perhitungan

Dengan hasil diatas diambil diameter pipa pesat dengan rata-rata dari tiap formula yaitu sebesar 0.77 m diambil dengan diameter rencana 0.80 m.

**Tabel 19. Diameter pipa pesat untuk  $Q_{70\%}$**

No	Metode	Diameter	Luas	Kecepatan
1	Sakaria	0.59	0.27	4.14
2	Pence celso	0.82	0.53	2.15
3	Gisalsous	1.05	0.87	1.31
4	Fahlbuch	0.74	0.43	2.63
5	Dolland	0.48	0.18	6.24
6	Coba-coba	0.85	0.57	2.01
7	Rata-rata	0.76	0.45	2.53

Sumber : Hasil Perhitungan

Dengan hasil diatas diambil diameter pipa pesat dengan rata-rata dari tiap formula yaitu sebesar 0.76 m diambil dengan diameter rencana 0.80 m.

**Tabel 20. Diameter pipa pesat untuk  $Q_{80\%}$**

No	Metode	Diameter	Luas	Kecepatan
----	--------	----------	------	-----------

1	Sakaria	0.54	0.23	4.14
2	Pence celso	0.77	0.46	2.06
3	Gisalssous	0.98	0.75	1.26
4	Fahlbuch	0.69	0.37	2.57
5	Dolland	0.44	0.15	6.17
6	Coba-coba	0.75	0.44	2.15
7	Rata-rata	0.69	0.38	2.51

Sumber : Hasil Perhitungan

Dengan hasil diatas diambil diameter pipa pesat dengan rata-rata dari tiap formula yaitu sebesar 0.69 m diambil dengan diameter rencana 0.70 m.

### Tebal pipa pesat

**Tabel 21. Diameter pipa pesat untuk  $Q_{80\%}$**

No	Metode	65%	70%	80%
1	Technical standart for <i>penstock and gate</i>	7 mm	7 mm	6.75 mm
2	USBR	6.27 mm	6.27 mm	6.02 mm
3	ESHA	5.9463 mm	5.9463 mm	5.5780 mm
4	Rata-rata	6.405 mm	6.405 mm	6.116 mm

Sumber : Hasil Perhitungan

**Tabel 22. Dimensi Gedung Sentral**

Parameter	Keterangan
Panjang bangunan	25,00 m
Tipe bangunan	Upper ground
Lebar bangunan	9,00 m
Jenis konstruksi	Beton bertulang
El.Lantai Bangunan	+ 510.91 m
El.Dasar turbine	+ 510.41 m
Tebal plat lantai	50 cm
Bahan Lantai Keramik	30 cm x 30 cm
Daya angkat Crane	10 ton
Jenis Atap	Baja

(Sumber : PT. Energi Soka Prima)

### C. Simulasi dan Analisa Turbin

**Tabel 23. Rangkuman Spesifikasi Turbin Untuk Tiap Alternatif**

No	Uraian	Alternatif Pilihan					
		65%		70%		80%	
		Nilai	Satuan	Nilai	Satuan	Nilai	Satuan
1	Tipe turbin	Francis Turbin		Francis Turbin		Francis Turbin	
2	Frekuensi Generator	50	Hz	50	Hz	50	Hz
3	Kutub Genarator (p)	12	buah	12	buah	10	buah
4	kecepatan sinkron	500	rpm	500	rpm	600	rpm
5	kecepatan putar (n)	500	rpm	500	rpm	600	rpm
6	kecepatan spesifik (Ns)	58	Ns	57	Ns	62	Ns
7	diameter runner	593	mm	580	mm	525	mm
8	Centerline setting	7.4	m	7.5	m	7.3	m
9	Intake Type	Spiral Case		Spiral Case		Spiral Case	
10	Inlet diameter	0.61	m	0.61	m	0.61	m
11	Inlet Offset	1.24	m	1.23	m	1.03	m
12	Centerline to inlet	1.51	m	1.54	m	1.53	m
13	Outside Radius A	1.55	m	1.53	m	1.34	m
14	Outside Radius B	1.49	m	1.47	m	1.28	m
15	Outside Radius C	1.41	m	1.40	m	1.21	m
16	Outside Radius D	1.31	m	1.30	m	1.13	m
17	Draft tube type	Elbow		Elbow		Elbow	
18	Centerline to invert	1.95	m	1.91	m	1.72	m
19	Length	2.85	m	2.78	m	2.52	m
20	Exit width	1.78	m	1.74	m	1.58	m
21	Exit Height	1.07	m	1.04	m	0.95	m
22	Velocity at Draft Tube Exit	0.63	m/s	0.63	m/s	0.64	m/s
23	Shaft Arrangement	With Shaft and Bearing		With Shaft and Bearing		With Shaft and Bearing	
24	Centerline to shaft coupling	2438	mm	2438	mm	2438	mm
25	Turbine shaft diameter	149	mm	147	mm	130	mm
26	Wicket gate height	80	mm	77	mm	73	mm
27	Gate circle diameter	1181	mm	1166	mm	1018	mm
28	Runner and shaft weight	785	kg	756	kg	600	kg
29	Estimated runner	428	kg	411	kg	331	kg

weight							
30	Maximum hydraulic thrust	3235	kg	3082	kg	2709	kg
31	Debit air tertinggi	1.44	m <sup>3</sup> /s	1.37	m <sup>3</sup> /s	1.14	m <sup>3</sup> /s
32	Debit air optimum	1.20	m <sup>3</sup> /s	1.14	m <sup>3</sup> /s	0.95	m <sup>3</sup> /s
33	Debit air terendah	0.07	m <sup>3</sup> /s	0.07	m <sup>3</sup> /s	0.06	m <sup>3</sup> /s
34	Head maksimum	140.5	m	140.8	m	137	m
35	Head efektif	85.54	m	85.54	m	85.54	m
36	Head terendah	58.8	m	59	m	58.6	m

Sumber : Hasil Perhitungan

#### D. Analisa Pembangkitan Energi

**Tabel 24. Perhitungan Efisiensi dan Daya Turbin**

Debit Andalan	m <sup>3</sup> /s	% eff	kW
Q 65%	1.198682879	90.2	907
Q 70%	1.138538243	90.1	861
Q 80%	0.950421698	90.2	719

Sumber : Hasil Perhitungan

Energi yang dihasilkan dalam satu hari, dihitung dengan:

$$E = 9,8 \times H \times Q \times \eta_g \times \eta_t \times 24$$

$$E = 9,8 \times 85,54 \times 1.198682879 \times 0,96 \times 0,902 \times 24$$

$$E = 20.882,79 \text{ kWh per hari}$$

**Tabel 25. Perhitungan Pembangkitan Energi Harian Tiap Alternatif**

Debit Andalan	m <sup>3</sup> /s	% eff	kW	Energi (kWh)
Q 65%	1.198682879	90.2	907	20882.79553
Q 70%	1.138538243	90.1	861	19834.98867
Q 80%	0.950421698	90.2	719	16557.72543

Sumber : Hasil Perhitungan

#### E. Analisa Analisa Kelayakan Ekonomi

**Tabel 26. Rangkuman Hasil Analisa Kelayakan Ekonomi**

Alternatif	Suku Bunga	Investasi	PV Cost	BCR	NPV	IRR	Pay Back Periode
65%	12%	Rp 33,980,427,885.59	Rp 88,900,982,513.63	2.61	Rp 54,920,554,628.04	18.69%	4.54
70%	12%	Rp 33,308,621,470.76	Rp 80,355,532,003.66	2.41	Rp 47,046,910,532.91	17.78%	4.78
80%	12%	Rp 29,995,090,868.74	Rp 56,993,724,400.15	1.90	Rp 26,998,633,531.41	15.46%	5.51

Sumber : Hasil Perhitungan

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan perhitungan yang telah dilakukan dengan memperhatikan rumusan masalah, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan analisa, setiap debit yang melalui sungai prukut dapat dikembangkan untuk pembangkitan energi listrik dengan melihat besarnya debit yang masuk melalui grafik hill curve turbin pro. Dengan menggunakan data debit pada tahun 1999-2008, dapat dibangkitkan energi sebesar:
  - a. Alternatif 65% : 20.882,79 kWh per hari
  - b. Alternatif 70% : 19.834.98 kWh per hari
  - c. Alternatif 80% : 16557.72 kWh per haridengan besar daya turbin yang dihasilkan sebesar :
  - a. Alternatif 65% : 907 kW tiap 1 turbin
  - b. Alternatif 70% : 861 kW tiap 1 turbin
  - c. Alternatif 80% : 719 kW tiap 1 turbin
2. Komponen bangunan PLTM Prukut Sambirata yang dipergunakan dalam studi ini adalah:
  - a. Bangunan sipil: Bangunan pengambilan (bendung, intake), Kolam pengendap pasir, Saluran penghantar, Bak Penenang, Pipa Pesat (*Penstock*), Gedung sentral (*Powerhouse*)
  - b. Peralatan mekanik dan elektrik: Turbin kaplan beserta kelengkapannya (spiral case, draft tube dan wicket gate height), generator 50Hz 3 fasa dengan 10 kutub untuk alternatif 65% dan 70% dan 12 kutub untuk alternatif 80%, Generator, Transformer, dan Peralatan pengatur kelistrikan (*Switchgear Equipment*).
3. Berdasarkan analisa ekonomi terhadap alternatif debit andalan terpilih didapatkan:
  - a. Biaya investasi
    - (1) Alternatif 65% : Rp 33,980,427,885.59
    - (2) Alternatif 70% : Rp 33,308,621,470.76
    - (3) Alternatif 80% : Rp 29,995,090,868.74
  - b. PV Cost (*Present Value Cost*)
    - (1) Alternatif 65% : Rp 88,900,982,513.63
    - (2) Alternatif 70% : Rp 80,355,532,003.66
    - (3) Alternatif 80% : Rp 56,993,724,400.15
  - c. BCR (*Benefit Cost Ratio*)
    - (1) Alternatif 65% : 2.61
    - (2) Alternatif 70% : 2.41
    - (3) Alternatif 80% : 1.90
  - d. NPV (*Net Present Value*)
    - (1) Alternatif 65% : Rp 54,920,554,628.04
    - (2) Alternatif 70% : Rp 47,046,910,532.91
    - (3) Alternatif 80% : Rp 26,998,633,531.41
  - e. IRR (*Internal Rate Of Return*)

- (1) Alternatif 65% : 18.69% > 12 %
  - (2) Alternatif 70% : 17.78% > 12 %
  - (3) Alternatif 80% : 15.46% > 12 %
- f. Pay Back Periode
- (1) Alternatif 65% : 4.54 tahun
  - (2) Alternatif 70% : 4.78 tahun
  - (3) Alternatif 80% : 5.51 tahun

Dari hasil analisa diketahui bahwa nilai BCR dan IRR memiliki nilai lebih baik jika biaya lebih rendah (PV Cost) dibandingkan dengan biaya yang lebih tinggi, namun ketiga alternatif masih memiliki parameter kelayakan ekonomi yang baik (layak) dalam studi ini diputuskan untuk mengambil alternatif 65% dikarenakan nilai NPV yang lebih tinggi dari alternatif lainnya hal ini menunjukkan tingkat keuntungan yang lebih tinggi dibandingkan dengan alternatif lainnya meski nilai BCR dan IRR lebih rendah dari alternatif lain selain itu energi yang bisa disalurkan menuju grid lebih besar dari pada alternatif lain sehingga suplai energi bersih akan meningkat.

### Saran

Setelah melakukan penelitian ini, saran yang penulis ingin sampaikan yaitu:

1. Perlu adanya keseriusan dan tindak lanjut dari pihak pemerintah daerah dan pemerintah pusat untuk mendukung pemanfaatan sumber energi terbarukan dan konservasi energi, biasanya masih banyaknya kendala yang dialami oleh para pembembang dalam izin pembangunan.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut dan detail dalam aspek mekanikal dan bangunan sipil agar perencanaan dapat optimal.
3. Perlu adanya Studi Jaringan Kelistrikan PLTM Prukut Sambirata untuk mengetahui waktu beban puncak, kehilangan energi listrik dan penggunaan energi listrik harian secara optimal.
4. Melihat dari banyaknya kekayaan alam yang berpotensi dibangunnya PLTM di Provinsi Jawa Tengah khususnya Kab. Banyumas, Purwokerto, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai PLTM dilokasi yang memiliki potensi diwilayah Jawa Tengah.

### DAFTAR RUJUKAN

- Bass, Robert. 2009. *Hydroelectric Feasibility Study An Assessment Of The Feasibility Of Generating Electric Power Using Urban Stormwater In Oregon City*. Oregon Institute Of Technology Renewable Energy Engineering, USA.
- Dimas. Didip, Reni Widyastuti W.S., 2009. *Perencanaan Teknis Dan Kajian Sistem Pengendalian Proyek Dengan Metode Earned Value Pada Bendung Susukan Kabupaten Magelang*. Universitas Diponegoro, Semarang.

- Hashiddiqi, Ridho., Suwanto Marsudi, Ery Suhartanto. 2010. *Studi Kelayakan Pemasangan PLTMH Di Saluran Irigasi Lodagung Pada Bendungan Wlingi Blitar*. Universitas Brawijaya, Malang.
- IMIDAP. 2009. *Buku 1 Pedoman Studi Potensi (Pra Studi Kelayakan)*. Direktorat Jenderal Listrik Dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi Dan Sumber Daya Mineral, Jakarta.
- IMIDAP. 2009. *Buku 2A Pedoman Studi Kelayakan Hidrologi*. Direktorat Jenderal Listrik Dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi Dan Sumber Daya Mineral, Jakarta.
- IMIDAP. 2009. *Buku 2B Pedoman Studi Kelayakan Sipil*. Direktorat Jenderal Listrik Dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi Dan Sumber Daya Mineral, Jakarta.
- IMIDAP. 2009. *Buku 2C Pedoman Studi Kelayakan Mekanikal Elektrikal*. Direktorat Jenderal Listrik Dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi Dan Sumber Daya Mineral, Jakarta.
- IMIDAP. 2009. *Buku 2D Pedoman Studi Kelayakan Ekonomi/Financial*. Direktorat Jenderal Listrik Dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi Dan Sumber Daya Mineral, Jakarta.
- Ismail, Supriono. 2013. *Analisis Ekonomi Energi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Meragun (Desa Meragun, Kec. Nanga Taman, Kab. Sekadau)*. Universitas Tanjungpura. Pontianak Kalimantan Barat.
- Kurniawan, Adi Martha., Pitojo Tri Juwono, Suwanto Marsudi. 2014. *Studi Kelayakan Perencanaan PLTMH Di Saluran Turitunggorono Pada Bendung Gerak Mrican Kediri*. Universitas Brawijaya, Malang.
- Maximilien, Niyonsaba. 2013. *Design, Costing and Feasibility Of Bukaba Micro-Hydro Power Plant: A Rwanda Rural Electrification Case Study*. Department of Energy Technology Royal Institute of Technology KTH Stockholm, Sweden.
- Nasir, Bilal Abdullah. *Design of Micro - Hydro - Electric Power Station*. International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) ISSN: 2249 – 8958, Volume-2, Issue-5, June 2013.
- Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 03 Tahun 2013 Tentang Petunjuk Teknis Penggunaan Dana Alokasi Khusus Bidang Perdesaan Tahun Anggaran 2013.
- Permadi, Dimas Riadi., Suwanto Marsudi, Donny Harisuseno. 2014. *Studi Kelayakan Pemasangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Pada Pintu Air Bendung Mlirip Mojokerto*. Universitas Brawijaya, Malang
- Suarda, Made. 2009. *Kajian Teknis dan Ekonomis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro-Hidro di Bali*. Cakra M. Vol. 3 No.2.Oktober 2009 (184 - 193). Diambil dari <http://www.e-jurnal.com/2014/08/kajian-teknis-dan-ekonomis-potensi.html>. (20 September 2015).
- Syukriyah, Ana., Evi Fatmawati, Eni Kusriani, dkk. 2014. *Optimalisasi Energi baru terbarukan*. Universitas Negeri Semarang, Semarang.