

STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MINIHIDRO (PLTM) SUNGAI AEK SIMONGGO DESA SION KABUPATEN HUMBANG HASUNDUTAN PROVINSI SUMATERA UTARA

Hardiman Mahendra¹, Suwanto Marsudi², Lily Montarcih Limantara²

¹Mahasiswa Program Sarjana Teknik Pengairan Universitas Brawijaya

²Dosen Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

¹Email: hardiman_mahendra@yahoo.com

ABSTRAK: Potensi pembangkitan listrik yang sangat tinggi sehingga perlunya dilakukan Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro di Sungai Aek Siomonggo, Desa Sion, Kabupaten Humbang Hasundutan, Provinsi Sumatera Utara. Perencanaan pada studi ini didapatkan hasil debit banjir Q_{100} sebesar $682,31 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan debit pembangkit dengan keandalan 40% sebesar $15,88 \text{ m}^3/\text{detik}$. Tinggi bendung 4 meter dengan lebar 56 meter, peredam energi tipe bak tenggelam dengan jari-jari 6 meter, intake dengan tinggi ambang 2 meter dan lebar 4,5 meter (3 pintu), bak pengendap dengan luas endapan $604,69 \text{ m}^3$, saluran pembawa dengan lebar 5 meter, pipa pesat dengan diameter 2,5 meter dan ketebalan 25 mm, bak penenang dengan volume $2.176,87 \text{ m}^3$, dan saluran pembuang dengan lebar 5 meter. Turbin yang digunakan adalah tipe francis, yang mampu menghasilkan $11.634,58 \text{ kW}$ dengan energi $67,99 \text{ GWh}$ dalam 1 tahun. Biaya yang dibutuhkan untuk pembangunan Rp $463,825,496,434.55$ dengan suku bunga 10,50%, *Benefit Cost Ratio* (BCR) sebesar 1,47, *Internal Rate of Return* (IRR) sebesar 12,44 %, *Payback Period* selama 13,6 tahun. Dari beberapa metode Analisa ekonomi yang digunakan dapat disimpulkan untuk pembangunan PLTM Sion layak secara ekonomi.

Kata Kunci: Hidrologi, Turbin, Daya, Energi, Listrik, Sensitivitas.

Abstract: *The potential of electric generation is very high so that the need for a planning study undertaken power plant Minihidro on the river Aek Simonggo, the Sion village, Humbang Hasundutan Regency, North Sumatera Province. Planning in this study the selected flood discharge Q_{100} to be $682.31 \text{ m}^3/\text{s}$ and plant discharge 40% to be $15.88 \text{ m}^3/\text{s}$. High Dam holds 4 meters with a width of 56 meters, the energy reducer type tub sink with a radius of 6 meters, the intake with a high threshold of 2 meters and a width of 4.5 metres (3 doors), settling basin with extensive deposits of 604.69 m^3 , the head race with a width of 5 meters, penstock with a diameter of 2.5 meters and a rapidly and thickness of 25 mm, a forebay with a volume of $2,176.87 \text{ m}^3$, and tail race with a width of 5 metres. The turbine used is capable of francis type, with the $11,634.58 \text{ kW}$ or 67.99 GWh of energy in one year. The cost needed for the development of Rp $463,825,496,434.55$ with interest rates 10.50%, *Benefit Cost Ratio* (BCR) of 1.47, *Internal Rate of Return* (IRR) of 12.44%, *Payback Period* for 13.6 years. Economic Analysis of some of the methods used can be inferred for PLTM Sion the development of economically viable.*

Keyword: *Hydrology, Turbine, Power, Energy, Electric, Sensitivity*

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi di Indonesia semakin meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk dan standar kehidupan masyarakatnya. Hal ini ditandai dengan meningkatnya peralatan yang menggunakan teknologi canggih dan modern, baik dalam sektor rumah tangga maupun industri, sehingga menyebabkan pertumbuhan permintaan energi listrik untuk sektor rumah tangga dan industri.

Dalam pasal 4 ayat 4 UU No. 20 Tahun 2002 tentang ketenagalistrikan disebutkan, guna menjamin ketersediaan energi primer untuk pembangkit tenaga listrik, diprioritaskan penggunaan sumber energi setempat dengan kewajiban mengutamakan pemanfaatan sumber energi terbarukan. Hal ini juga ditegaskan dalam Peraturan Presiden No. 5 Tahun 2006 mengenai Kebijakan Energi Nasional (KEN).

Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) dipilih sebagai salah satu energi alternatif dikarenakan memiliki beberapa keunggulan, antara lain adalah tenaga penggerak yang tidak akan habis atau berubah menjadi bentuk lain, pemeliharaannya lebih murah, dan pengoperasiannya dapat dihentikan setiap saat tanpa melalui prosedur yang rumit. Sistem PLTM pun sangat sederhana dan memiliki ketangguhan yang baik.

Desa Sion yang terletak di Kecamatan Parlilitan, Kabupaten Humbang Hasundutan, Sumatera Utara yang dilewati Sungai Aek Simonggo dan mengalirkan debit yang dapat diandalkan sepanjang tahunnya. Pemanfaatan sungai tersebut belum maksimal mengingat debitnya yang cukup ideal sebagai pembangkit listrik. Sungai tersebut juga memiliki kontur yang memenuhi teknis perencanaan untuk dibangun PLTM.

PUSTAKA DAN METODOLOGI

Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro

Cara kerja Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) dimulai dengan dari proses perubahan aliran air yang merupakan energi potensial menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran turbin, untuk kemudian dikonversi menjadi energi listrik pada generator.

Jenis-jenis Sistem PLTM

Jenis Sistem PLTM berdasarkan kondisinya antara lain:

1. *Run-off River*

Sistem yang tidak memerlukan adanya bangunan tampungan (*reservoir*) untuk melewati turbin sehingga air langsung melalui pipa kemudian memutar turbin.

2. *Reservoir dan Dam Based*

Memiliki tampungan (*reservoir*) lalu diarahkan untuk memutar turbin. Jenis dan desain tampungan ditentukan berdasarkan topografi dan banyak hal lain contohnya seperti bendungan atau waduk yang airnya ditampung terlebih dahulu.

3. *Pumped Storage*

Keistimewaan dari jenis ini terletak pada keadaannya apabila stasiun pembangkit demikian tidak memproduksi tenaga listrik, maka dapat dipergunakan sebagai stasiun pompa yang memompa air dari saluran depan ke saluran samping pada saat cadangan air tinggi.

4. *Diversion Canal*

Jenis pembangkit listrik tenaga air yang sesuai dengan kondisi topografi, geologi dan hidrologi yang alirannya dapat langsung dimanfaatkan sebagai pembangkit. Kondisi ini sangat meminimalisir ekonomi pembangunan dikarenakan hanya membutuhkan beberapa bangunan.

Analisa Hidrologi

Analisa hidrologi akan memperhitungkan debit banjir rancangan dan debit andalan dalam merencanakan PLTM. Untuk tahapan Analisa hidrologi meliputi:

Pemeriksaan Data Hujan

Uji *Outlier Data*

Uji *Outlier* data merupakan pengujian data yang menyimpang dari *trend* kelompoknya. Dalam metode ini menetapkan batas bawah X_L dan batas atas X_H sebagai berikut:

$$X = \exp(\bar{x} + Kn S) \quad (1)$$

dengan:

X = nilai batas

\bar{x} = nilai rata-rata data

Kn = nilainya sesuai pada jumlah data

S = simpangan baku

n = jumlah data

Uji Konsistensi Data

Uji konsistensi data dilakukan terhadap data curah hujan harian maksimum yang dimaksudkan untuk mengetahui adanya penyimpangan data hujan, sehingga dapat disimpulkan apakah data tersebut layak dipakai dalam perhitungan analisis hidrologi atau tidak. Pengujian ini dilakukan dengan metode kurva massa:

$$P_{cv} = P \times \frac{Mc}{Ma} \quad (2)$$

dengan:

- P_{cv} = curah hujan setelah dikoreksi
 P = data asli curah hujan
 Mc = koreksi kemiringan kurva massa ganda
 Ma = kemiringan asli kurva massa ganda

Curah Hujan Rerata Daerah

Polygon Thiessen

Cara ini didasarkan atas dasar rata – rata timbang. Masing – masing stasiun hujan memiliki daerah pengaruh yang di bentuk dengan menggambarkan garis – garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara stasiun hujan dengan persamaan sebagai berikut:

$$R = P1.d1 + P2.d2 + \dots + Pn.dn \quad (3)$$

dengan:

- R = curah hujan daerah (mm)
 P = Koefisien Thiessen
 n = jumlah data
 d = tinggi hujan yang diukur di stasiun – stasiun pengukuran

Debit Banjir Rancangan

Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu

Menentukan nilai debit banjir rancangan dengan metode hidrograf satuan sintetis nakayasu dapat diprehitungkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$Qp = \frac{A \cdot Ro}{3,6 (0,37Tp + T0,3)} \quad (4)$$

dengan:

- Qp = debit puncak banjir (m^3 /det)
 A = luas DAS (km^2)
 Ro = hujan satuan (mm)
 Tp = tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)
 $T0,3$ = waktu yang diperlukan untuk penurunan debit, dari debit puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak (jam)

Hidrograf Satuan Sintetis Limantara

Adapun metode hidrograf satuan sisntetis limantara dengan persamaan berikut:

$$Qp = 0,042 \cdot A^{0,451} \cdot L^{0,497} \cdot Lc^{0,356} \cdot S^{-0,131} \cdot n^{0,168} \quad (5)$$

dengan:

- Qp = debit puncak banjir hidrograf satuan ($m^3/dt/mm$)
 A = luas DAS (km^2)
 L = panjang sungai utama (km)
 Lc = panjang sungai dari outlet sampai titik terdekat dengan titik berat DAS (km)
 S = kemiringan sungai utama
 n = koefisien kekasaran DAS

Debit Andalan

Debit andalan merupakan debit yang tersedia dengan probabilitas tertentu sepanjang tahun. Berikut langkah perhitungan debit andalan berdasarkan SNI 6378 tahun 2015:

- Mengumpulkan data debit dengan priode waktu tertentu hasil metode pembangkitan dengan F.J Mock,
 - Mengecek pencatatan debit dengan curah hujan,
 - Melakukan uji validasi data debit,
 - Menentukan urutan data debit,
 - Menghitung probabilitas dengan Weibull $P = \frac{m}{n+1} + 100\%$ (6)
- dengan:
- P = probabilitas kejadian (%)
 m = nomor urut pada data
 n = jumlah data
- Menghitunga debit andalan berdasarkan probabilitas sesuai peruntukan,
 - Membuat kurva durasi debit.

Perencanaan Bangunan Sipil

Bendung

Bendung berfungsi untuk menaikan tinggi muka air. Untuk menentukan panjang mercu dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q = Cd \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3} g} b H_1^{1,5} \quad (7)$$

dengan:

- Q = debit ($m^3/detik$)
 Cd = koefisien debit ($Cd = C_0C_1C_2$)
 g = percepatan gravitasi ($9,81 m/detik^2$)
 b = panjang mercu (meter)
 H_1 = tinggi energi di atas mercu (meter)

Peredam Energi

- 1) *Froude* $\leq 1,7$ tanpa kolam olak
- 2) *Froude* 1,7 s/d 2,5 ambang ujung
- 3) *Froude* 2,5 s/d 4,5 USBR Tipe IV
- 4) *Froude* $\geq 4,5$. USBR Tipe III

Bangunan Pengambilan (*Intake*)

Intake berfungsi sebagai masuknya debit yang diperlukan. Kapasitas design bangunan *intake* setidaknya direncanakan 120% dari debit yang dibutuhkan. Berikut adalah persamaan yang digunakan dalam perencanaan *intake*:

$$Q = \mu b a \sqrt{2gz} \quad (8)$$

dengan:

- Q = debit (m³/detik)
 μ = koefisien debit ($\mu = 80$)
b = lebar bukaan (meter)
a = tinggi bukaan (meter)
g = percepatan gravitasi (9,81 m/detik²)
z = kehilangan tinggi energi (meter)

Bak Pengendap

Dari persamaan *Velikanov* yang memberikan rumus mengenai faktor-faktor koreksi bak pengendap. Berikut persamaan bak pengendap:

$$LB = \frac{Q}{w} \cdot \frac{\lambda^2}{7,51} \cdot \frac{v}{w} \cdot \frac{(H^{0,5}-0,2)^2}{H} \quad (9)$$

dengan:

- L = panjang bak pengendap (meter)
B = lebar bak pengendap (L/B > 8)
Q = debit saluran (m³/detik)
w = kecepatan endap partikel sedimen (m/dt)
 λ = koefisien pembagian/distribusi *Gauss*

Saluran Pembawa

Saluran pembawa berfungsi untuk mengarahkan air menuju bak penenang. Debit yang dilalui dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Qd = \frac{A.R^3.S_L^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (10)$$

dengan:

- Qd = debit rencana (m³/detik)
A = luasan dimensi saluran (m²)

P = Keliling basah (meter)

R = A/P (meter)

S_L = Kemiringan Saluran

n = Koefisien kekasaran

Bak Penenang

Bak penenang berfungsi untuk menampung dan menenangkan air sebelum masuk ke pipa pesat. Kapasitas bak penenang dapat diperhitungkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_{sc} = A_s \cdot d_{sc} = B \cdot L \cdot d_{sc} \quad (11)$$

dengan:

A_s = Luas bak (m²)

B = Lebar bak (meter)

L = Panjang bak (meter)

d_{sc} = kedalaman air (meter)

Pipa Pesat

Dalam menentukan diameter pipa pesat akan menggunakan beberapa persamaan sebagai berikut:

- Metode Warnick (1984)
 $D = 0,72Q^{0,5} \quad (12)$

- Metode USBR (1986)
 $D = 1,517Q^{0,5}/H^{0,25} \quad (13)$

- Metode Fahlbusch (1987)
 $D = 1,12Q^{0,45}/H^{0,12} \quad (14)$

- Metode Sarkaria (1987)
 $D = 3,55 \cdot (Q^2/2gH)^{1/4} \quad (15)$

- Metode RETscreen Canada (2005)
 $D = (Q/np)^{0,43}/(H)^{0,14} \quad (16)$

- Metode ESHA (2005)
 $D = 2,69 \left(\frac{n^2 Q^2 L}{H} \right)^{0,1875} \quad (17)$

dengan:

D = diameter pipa pesat (meter)

Q = debit (m³/detik)

H = tinggi jatuh efektif (meter)

g = gravitasi (9,81 m/detik²)

np = jumlah pipa

n = kekasaran pipa

Kehilangan Tinggi

Kehilangan tinggi merupakan menurunnya tinggi muka air yang diakibatkan oleh bangunan yang dilewati. Hal tersebut dapat terjadi

dikarenakan halangan dan perubahan bentuk pada aliran sebelum masuk kedalam pipa pesat untuk memutar turbin.

Vortisitas

Vortisitas merupakan kedalaman putaran udara yang terjadi pada inlet pipa pesat. Untuk menentukan keamanan dari vortisitas dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

- Metode Gordon
$$H_t \geq c \cdot V \sqrt{D} \quad (18)$$

- Metode Knauss
$$H_t \geq D \left(1 + 2,3 \frac{V}{\sqrt{gD}}\right) \quad (19)$$

- Metode Rohan
$$H_t \geq 1,474 V^{0,48} D^{0,76} \quad (20)$$

dengan:

- H_t = kehilangan tinggi
- c = 0,7245 (inlet asimetris) dan 0,5434 (inlet simetris)
- v = kecepatan air dalam bak (m/dt)
- D = diameter pipa pesat (meter)

Perencanaan Mekanikal

Turbin

Pemilihan jenis turbin berdasarkan grafik yang terdapat pada ESHA (2004:175) dengan parameter debit pembangkit dan tinggi jatuh efektif.

Generator

Generator merupakan komponen yang berfungsi mengubah energi gerak pada air menjadi listrik. Untuk menentukan kecepatan putaran dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$n = \frac{120 \times f}{p} \quad (21)$$

dengan:

- n = kecepatan putaran (min⁻¹)
- f = frekuensi (50 atau 60 Hz)
- p = jumlah kutub generator

Daya dan Energi

Untuk perhitungan daya dan energi dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_{nett} = g \cdot \eta_g \cdot \eta_t \cdot Q \cdot H_{nett} \quad (22)$$

$$E = g \cdot \eta_g \cdot \eta_t \cdot Q \cdot H_{nett} \cdot n \quad (23)$$

dengan:

- P = Daya (Watt)
- g = gravitasi (m/detik²)
- Q = debit (m³/detik)
- H = tinggi jatuh (meter)
- η_g = efisiensi generator
- η_t = efisiensi turbin
- n = jumlah jam

Analisa Ekonomi

Komponen Manfaat

Manfaat Pusat Listrik Tenaga Minihidro didasarkan pada tenaga listrik yang dihasilkan tiap tahun dan tarif dasar listrik yang berlaku.

Komponen Biaya

Pada pelaksanaan pemagnunan, mulai dari ide, studi kelayakan, perencanaan, pelaksanaan, sampai pada operasi dan pemeliharaan membutuhkan bermacam-macam biaya. Pada analisa kelayakan ekonomi baya-biaya tersebut dikelompokkan menjadi dua yaitu biaya modal dan biaya tahunan.

Benefit Cost Ratio (BCR)

BCR adalah perbandingan antara nilai sekarang (*present value*) dari manfaat (*benefit*) dengan nilai sekarang (*present value*) dari biaya (*cost*). Secara umum rumus untuk perhitungan BCR ini adalah sebagai berikut:

$$BCR = \frac{PV \text{ dari manfaat}}{PV \text{ dari biaya}} \quad (24)$$

dengan:

- PV = *Present Value*
- BCR = *Benefit Cost Ratio*

Net Present Value

Harga *net present value* diperoleh dari pengurangan present value komponen benefit dengan *present value* komponen *cost*.

$$NPV = PV \text{ komponen } Benefit - PV \text{ komponen } Cost \quad (25)$$

dengan:

- NPV = *Net Present Value*
- PV = *Present Value*

Internal Rate of Return (IRR)

Nilai IRR dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$IRR = iNPV_+ + \frac{NPV_+}{|NPV_+ + NPV_-|} (iNPV_- + iNPV_+) \quad (26)$$

Untuk mendapatkan nilai IRR maka diperlukan beberapa variabel agar didapatkan suku bunga saat NPV < 0 dan NPV > 0

Payback Periode

Berikut merupakan persamaan *payback periode*:

$$Payback\ Periode = \frac{I}{A_b} \quad (28)$$

dengan:

I = besarnya biaya investasi yang diperlukan

A_b = *Benefit* bersih yang dapat diperoleh pada setiap bulan

Sensitivitas

Analisa sensitivitas bertujuan untuk mengetahui apa yang terjadi dengan hasil proyek apabila terjadi kemungkinan perubahan dalam penentuan nilai-nilai untuk biaya dan manfaat atau keuntungan masih merupakan suatu estimasi (perkiraan), sehingga bila terjadi asumsi-asumsi yang tidak sama dengan keadaan sebenarnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Debit Banjir Rancangan

Berdasarkan HSS Nakayasu dan HSS Limantara didapatkan nilai debit banjir rancangan sebagai berikut:

Tabel 1. Debit Banjir Rancangan

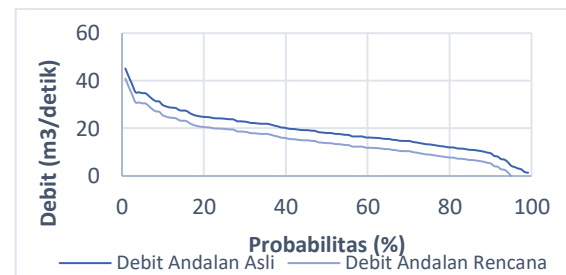
Kala Ulang (tahun)	HSS Nakayasu	HSS Limantara
	m ³ /detik	m ³ /detik
2	479,531	256,518
5	681,253	363,955
10	819,782	437,735
25	1000,102	533,772
50	1137,766	607,092
100	1278,990	682,307

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Setelah dilakukan perbandingan dengan kondisi dilapangan berdasarkan pengukuran tinggi muka air, maka didapatkan metode yang mendekati adalah HSS Limantara dengan Q_{100} sebesar 682,31 m³/detik yang akan digunakan dalam perencanaan bendung.

Debit Andalan

Berdasarkan hasil dari perhitungan evapotranspirasi kemudian pembangkitan debit dengan metode F.J Mock dan pengurangan oleh debit *maintenance flow* maka didapatkan hasil kurva debit andalan sebagai berikut:



Gambar 1. Kurva Durasi Aliran Rencana
Sumber: Hasil Pehitungan, 2017

Dari hasil perhitungan optimasi debit andalan Q_{40} , Q_{50} , Q_{60} dan Q_{70} berdasarkan Kapasitas Faktor dan BCR maka dapat ditentukan debit pembangkit yang digunakan adalah Q_{40} sebesar 15,88 m³/detik.

Perencanaan Bangunan Sipil Bendung

Bendung direncanakan menggunakan tipe bulat dengan dimensi bangunan bendung sebagai berikut:

Debit desain = 682,31 m³/detik

Lebar bendung = 56 meter

Tinggi bendung = 4 meter

Jari-jari mercu = 2,5 meter

Tinggi muka air = 2,88 meter

Elevasi dasar hulu = +765

Peredam Energi

Peredam energi yang digunakan adalah tipe bak tenggelam dengan dimensi bangunan R_{min} = 6 meter dan panjang lantai 22,8 meter.

Intake

Bangunan pengambilan akan direncanakan dengan 120% debit rencana, yaitu:

$$Q = 120\% \times 15,88 = 19,09 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$\text{Tinggi ambang} = 2 \text{ meter}$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar Intake} &= \frac{Q}{K \cdot \mu \cdot a \cdot \sqrt{2gh}} \\ &= \frac{19,09}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 2}} \\ &= 4,5 \text{ meter} \end{aligned}$$

$$\text{Lebar Pintu} = 1,5 \text{ meter}$$

$$\text{Jumlah Pintu} = 3 \text{ unit}$$

Saluran Pengantar

Saluran pengantar direncanakan berbentuk persegi dengan dimensi bangunan sebagai berikut:

$$\text{Lebar} = 5,7 \text{ meter}$$

$$\text{Tinggi Muka Air} = 1,04 \text{ meter}$$

$$\text{Slope} = 0,0015$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi Jagaan} &= \frac{3}{4} \times 1,04 \\ &= 0,35 \text{ meter} \end{aligned}$$

Bak Pengendap

Perencanaan bak pengendap atau kantong lumpur direncanakan dengan dimensi bangunan sebagai berikut:

$$\text{Debit Rencana (Qn)} = 19,09 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$\text{Periode Pengurasan} = 7 \text{ hari}$$

$$\text{Suhu} = 20^\circ \text{C}$$

$$\text{Partikel Sedimen} = 0,3 \text{ mm}$$

$$\text{Kandungan Sedimen} = 0,1 \text{ ‰}$$

$$\text{Volume} = \text{‰ sedimen} \cdot \text{Jumlah Hari} \cdot \text{Qn}$$

$$= 24 \cdot 3600 = 0,1 \text{ ‰} \times 7 \times 19,09 \times 24 \times 3600$$

$$= 1219,05 \text{ m}^3. \text{ Dari hasil grafik}$$

didapatkan kecepatan endap sedimen

dengan diameter sedimen 0,3 mm dan

suhu 20°C, maka didapatkan nilai $w = 0,45$

mm/detik $\sim 0,045$ m/detik dan sedimen

dengan ukuran dibawah 0,3 mm yang

berarti bergerak atau dapat terbilas.

Saluran Pembawa

Saluran pembawa direncanakan dengan debit yang dilalui sebesar 19,09 m³/detik dengan dimensi bangunan sebagai berikut:

$$\text{Lebar Saluran} = 5 \text{ meter}$$

$$\text{Kemiringan Talud} = 1:2$$

$$\text{Tinggi Muka Air} = 1,32 \text{ meter}$$

$$\text{Tinggi Jagaan} = 0,5 \text{ meter}$$

$$\text{Kecepatan Aliran} = 2,12 \text{ m/detik}$$

Bak Penenang

Bak penenang didesain dengan volume yang dapat menampung 90 detik debit rencana, yaitu sebesar $90 \times 19,09 = 2176,87 \text{ m}^3$ dengan dimensi sebagai berikut:

$$\text{Lebar} = 15 \text{ meter}$$

$$\text{Kedalaman} = 1,3 \text{ meter}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang} &= \frac{\text{volume}}{\text{Lebar} \times \text{Kedalam}} \\ &= \frac{2176,87 \text{ m}^3}{15 \times 1,3} \\ &= 111,84 \text{ m} \sim 112 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Lebar Pelimpah} = 38 \text{ meter}$$

Dengan dimensi bangunan tersebut maka dapat menampung volume lebih dari 2176,87 m³.

Pipa Pesat

Sesuai dengan beberapa metode perhitungan diameter pipa pesat, maka nilai diameter dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. Diameter Pipa Pesat

No	Persamaan	Diameter (meter)
1	Warnick	3,23
2	USBR	2,31
3	Falhbusch	2,57
4	Sarkaria	2,56
5	ESHA	2,24
6	Canada	1,98
	Rata-rata	2,48
	Digunakan	2,50

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Dari hasil perhitungan diameter pipa pesat dapat ditentukan diameter yang digunakan berdasarkan rata-rata dari setiap metode, yaitu sebesar 2,5 meter.

Kehilangan Tinggi

Perhitungan kehilangan tinggi berdasarkan komponen bangunan PLTM Sion yang direncanakan. Untuk perhitungannya dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 3. Kehilangan Tinggi

No	Letak Kehilangan Tinggi	Nilai Kehilangan Tinggi (meter)
1	Pada Saluran Pengambil	0,023
2	Pada Saringan Pengambilan	0,037
3	Pada Pintu Pengambilan	0,204
4	Pada Saluran Pengarah	0,245
5	Pada Pelebaran Menuju Bak Pengendap	0,056
6	Pada Penyempitan Saluran Pembawa	0,031
7	Pada Pelebaran Menuju Bak Penenang	0,088
8	Pada Saringan Bak Penenang	0,015
9	Pada Pemasukan Pipa Pesat	0,429
10	Pada 2 Belokan Pipa Pesat	0,989
11	Pada Katup Pipa Pesat	0,533
Total		2,445

Sumber: Hasil Perhitungan

Setelah perhitungan kehilangan tinggi jatuh maka dapat ditentukan tinggi jatuh efektif dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 H_{\text{nett}} &= H_{\text{gross}} - \text{Total Kehilangan Tinggi} \\
 &= 78 \text{ meter} - 2,45 \text{ meter} \\
 &= 76,55 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

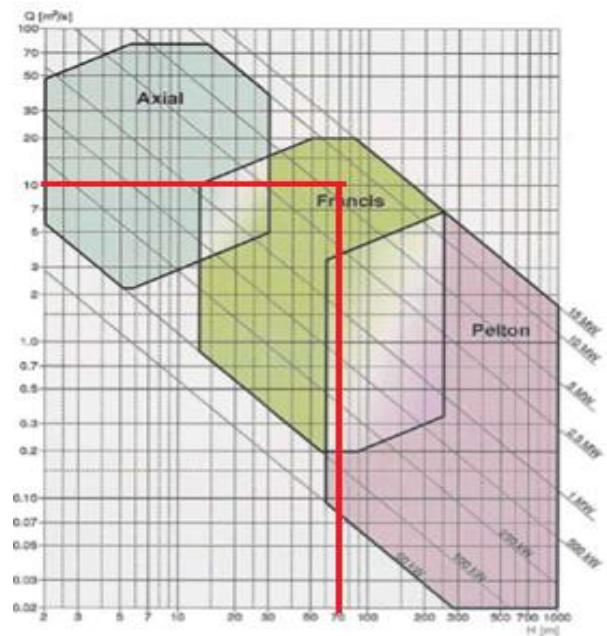
Vortisitas

Terdapat 3 metode dalam perhitungan Vortisitas. Untuk perhitungan vortisitas, yaitu sebagai berikut:

- Metode Gordon, $H_t \geq 0,91$ meter (aman)
- Metode Knauss, $H_t \geq 3,73$ meter (aman)
- Metode Rohan, $H_t \geq 3,04$ meter (aman)

Perencanaan Mekanikal

Dalam perencanaan mekanikal akan menentukan jenis turbin yang digunakan berdasarkan debit pembangkit, yaitu sebesar 15,88 m³/detik dengan tinggi jatuh efektif sebesar 76,55 meter. Untuk penentuan jenis turbin dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 2. Pemilihan Jenis Turbin

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari gambar diatas didapatkan hasil dengan jenis turbin Francis. Dalam studi perencanaan PLTM Sion akan merencanakan dengan 2 turbin.

Daya dan Energi

Daya

PLTM Sion memiliki daya sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P &= Q \times (\eta_{\text{turbin}} \times \eta_{\text{generator}}) \times g \times H_{\text{nett}} \\
 &= 15,88 \times 0,93 \times 9,81 \times 76,55 \\
 &= 11.634,58 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Energi

Dari perhitungan daya dapat diperhitungkan energi dari PLTM Sion secara teoritis sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 E &= \text{Daya} \times 24 \times 365 \\
 &= 11.634,58 \times 24 \times 365 \\
 &= 101 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

Dalam perhitungan simulasi dengan periode bulanan terdapat 2 bulan tidak beroperasi disebabkan debit yang datang dibawah debit minimum sebesar 7,43 m³/detik dan energi yang dihasilkan dari perhitungan simulasi debit sebesar 67,99 MW.

Analisa Ekonomi

Biaya

Biaya pada komponen PLTM Sion akan diperhitungkan berdasarkan *RETscreen Canada*. Dari hasil perhitungan tersebut didapatkan biaya sesuai pada hasil tabel berikut:

Tabel 4. Biaya PLTM Sion

No	Komponen	Biaya
A1	Teknis	Rp 5.387.590.173,18
A2	Elektromekanikal	Rp 23.406.159.229,26
A3	Instalasi Peralatan Hidromekanikal	Rp 3.510.923.884,39
A4	Kabel Transmisi	Rp 82.218.711.824,17
A5	Substansi dan Transformmer	Rp 12.332.806.773,63
A6	Instalasi Substansi dan Transforme	Rp 1.849.921.016,04
A7	Pekerjaan Sipil	Rp 54.573.730.172,22
A8	Pipa pesat	Rp 6.447.157.550,96
A9	Instalasi Penstock	Rp 2.651.928.724,52
A10	Saluran pembawa	Rp 25.108.505.996,18
A11	Biaya Lain,lain	Rp 24.848.432.538,76
Total		Rp 242.335.867.883,30

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Setelah itu dilakukan mekanisme perhitungan biaya selama 20 tahun dengan peminjaman bunga 10,50 % didapatkan total biaya sebesar Rp 463.825.496.434,55.

Manfaat

Manfaat atau keuntungan diperhitungkan berdasarkan energi yang dihasilkan dengan harga jual Rp 1.012 per kWh. Maka selama 20 tahun PLTM Sion menghasilkan keuntungan sebesar = 67,99 MW x Rp 1.012 x 20 Tahun = Rp 1.620.544.996.171,20 setelah itu dikonfersikan dengan factor bunga sehingga manfaat menjadi sebesar Rp 683.764.652.959,50.

Benefit cost ratio (BCR)

BCR diperhitungkan berdasarkan perbandingan antara biaya dengan

manfaat, maka nilai BCR sebagai berikut:

$$BCR = \frac{PV\ Manfaat}{PV\ Biaya} = \frac{Rp\ 683.764.652.959,50}{Rp\ 463.825.496.434,55} = 1,47$$

Net Present Value (NPV)

Dalam perhitungan *Net Present Value* akan memperhitungkan selisih antara manfaat dengan biaya. Untuk lebih jelasnya akan diperhitungkan sebagai berikut:

$$NPV = Manfaat\ PLTM\ Sion - Biaya = Rp\ 683,764,652,959.50 - Rp\ 463.825.496.434,55 = Rp\ 219.939.156.524,94$$

Internal Rate of Return (IRR)

$$IRR = \frac{NPV - NPV_{13\%}}{NPV_{12\%} - NPV_{13\%}} \times (12\% - 13\%) + 12\% = \frac{0 - (-28,021,390,685.33)}{35,041,021,890.96 - (-28,021,390,685.33)} \times (12\% - 13\%) + 12\% = 12,44\%$$

Dari hasil perhitungan IRR didapatkan batas suku bunga dengan BCR = 1, yaitu sebesar 12,44%.

Payback Period

$$Payback\ Period = \frac{Biaya}{Rerata\ Manfaat} = \frac{Rp\ 463.825.496.434,55}{Rp\ 34.188.232.647,97} = 13,6\ Tahun$$

Dari perhitungan Payback Period maka didapatkan hasil pengembalian modal membutuhkan waktu selama 13,6 Tahun.

Sensitivitas

Sensitivitas akan memperhitungkan seberapa banyak yang akan ditoleransi (BCR=1) terhadap berbagai perubahan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5. Sensitivitas PLTM Sion

Penurunan Produksi		
Tingkat	NPV (Milyar)	BCR
10%	Rp. 151	1,33
20%	Rp. 83	1,18
32.00%	Rp. 0	1,00
Kenaikan biaya		
Tingkat	NPV (Milyar)	BCR
20%	Rp. 127	1,23
30%	Rp. 80	1,13
47,38%	Rp. 0	1,00
Produksi Turun Biaya Naik		
Tingkat	NPV (Milyar)	BCR
10%	Rp. 105	1,21
19,2%	Rp. 0	1

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Dalam perhitungan Analisa Hidrologi didapatkan hasil Debit Banjir Rancangan yang digunakan dalam studi perencanaan PLTM Sion adalah 682,307 m³/detik dan untuk Debit Andalan yang digunakan sebagai debit pembangkit adalah debit dengan keandalan 40% sebesar 15,88 m³/detik.
2. Untuk hasil perhitungan dimensi bangunan dalam studi perencanaan PLTM Sion adalah sebagai berikut:
 - Bendung dengan lebar 56 meter dengan 3 pintu pembilas yang masing-masing pintu direncanakan dengan lebar 1,5 meter,
 - Peredam energi yang digunakan adalah tipe bak tenggelam dengan jari-jari bak 6 meter,
 - Saluran Pengarah direncanakan dengan lebar saluran 5,7 meter,

- Bak Pengendap direncanakan dengan lebar endapan 8,6 meter dan panjang endapan 60,3 meter,
 - Saluran Pembawa direncanakan dengan lebar saluran 5 meter dan Panjang saluran 2.346 meter,
 - Pipa Pesat direncanakan dengan diameter pipa 2,5 meter dan ketebalan 25 mm, dan
 - Bak Penenang direncanakan dengan volume bak penenang sebesar 2.176,87 m³, Panjang 112 meter, dan lebar pelimpah 38 meter.
3. Dalam perhitungan Daya dan Energi dengan tinggi jatuh efektif sebesar 73,55 meter didapatkan Daya sebesar 11.630,58 kW dan Energi 67.992.369,58 kWh dalam satu tahun.
 4. Untuk Hasil Analisa Ekonomi berdasarkan energi yang dihasilkan dapat disimpulkan dengan Bunga Bank = 10,50 %; Biaya Total = Rp 463.825.496.434,55; Keuntungan 20 Tahun = Rp 683.764.652.959,50; *Benefit Cost Ratio* (BCR) = 1,47; *Net Present Value* (NPV) = Rp 219.939.156.524,94; *Internal Rate of Return* (IRR) = 12,44 %; dan *Payback Period* = 13,6 Tahun.

Saran

Dari studi perencanaan ini dapat diketahui bahwa pembangunan PLTM Sion yang terletak di Sungai Aek Simonggo, Desa Sion, Kabupaten Humbang Hasundutan, Provinsi Sumatera Utara secara Teknik maupun secara ekonomi dapat dilaksanakan. Agar PLTM Sion ini dapat direalisasikan dengan baik dan memberikan manfaat yang optimal sebagai penghasil energi terbarukan unruk Indonesia, maka penulis memberikan saran sabagai berikut:

- Sebaiknya ada keseriusan dari pihak pemerintah baik pemerintah daerah maupun pusat untuk mendukung pembangunan PLTM Sion sebagai pemanfaatan energi terbarukan sesuai Peraturan Presiden No.5 tahun 2006

untuk mendukung peningkatan sampai 15% di tahun 2025.

- Sebaiknya diadakan program atau konsep pembangunan berkelanjutan dalam pembangunan PLTM Sion, yaitu dengan upaya melibatkan pemerintah dan masyarakat untuk menjaga kelestarian DAS Aek Simonggo agar ketersediaan debit tetap terjaga.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2015. *Standar Nasional Indonesia (SNI) SNI 6738:2015 Perhitungan Debit Andalan Sungai*. Jakarta : Dewan Standarisasi Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). *Standar Nasional Indonesia (SNI) SNI 2415:2016 Metode Hitung Debit Banjir*. Jakarta : Dewan Standarisasi Indonesia.
- Chow, V. T. (1959). *Open Channel Hydraulics*. Mc Graw Hill.
- Dandekar, M., & Sharma, K. (1991). *Pembangkit Listrik Tenaga Air*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Departemen ESDM. (2009). *Buku 2B Buku Pedoman Studi Kelayakan Sipil Pembangunan PLTMH*. Jakarta : IMIDAP
- Departemen ESDM. (2008). *Pedoman Teknis Standarisasi Peralatan dan Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)*. Jakarta : IMIDAP
- European Small Hydropower Association. 2004. *Guide on How to Develop a Small Hydropower*. Belgium: ESHA.
- JICA, IBEKA. (2003). *Manual Pembangunan PLTMH*. Jakarta.
- Limantara, L. M. (2010). *Hidrologi Praktis*. Bandung: Lubuk Agung.
- Novak, P. (2007). *Hydraulic Structures*. London: Taylor & Francis.
- Patty, O. (1995). *Tenaga Air*. Surabaya: Erlangga.
- Retscreen International. (2004). *Small Hydro Project Analysis*. Canada: Minister of Natural Resources Canada.
- Soetopo, W., & Limantara, L. (2011). *Statitika Hidrologi (Dasar)*. Malang: Citra Malang.
- Suwarno, (1995). *Hidrologi Jilid 1*. Bandung: NOVA.
- Tradmojo, B. (2008) *Hidrologi Terapan*. Bandung: Betta Offset.
- Varshney, R. (1986). *Hydro Power Structures*. New Delhi: Nem Chand & Bros Roorkee.