

Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Listrik Minihidro Sungai Moayat Desa Kobo Kecil Kota Kotamobagu

Hendra E. Mantiri, Meita Rumbayan, Glanny M.Ch. Mangindaan
Teknik Elektro, Universitas Sam Ratulangi Manado, Jl. Kampus Bahu-Unsrat Manado, 95115
elroy_mantiri@ymail.com, glanny_m@unsrat.ac.id, meitarumbayan@unsrat.ac.id

Abstract—Electrical energy needs in North Sulawesi is increasing. Along with that, many a few power plant development has done. Including Kotamobagu City Area which has a lot of water potential to be converted into electric power.

Minihydro Power Plant (PLTM) development planning in Kobo Kecil village by utilizing water potential of Moayat river. Begin by calculating the water debit and head so it can be estimated that capability of PLTM to be built. Then it is designed to manufacture the components of PLTM, such as: dam, intake building, waterway, stilling pond, penstock, power house, and spillway. Where the power house there are main equipments, such as: turbine, generator, and transformer.

Keywords: Generator, Head, Turbine, Water Debit.

Abstrak—Kebutuhan energi listrik di Sulawesi Utara semakin meningkat. Seiring dengan itu, banyak dilakukan beberapa pembangunan pembangkit tenaga listrik. Termasuk daerah Kota Kotamobagu yang mempunyai banyak potensi air untuk diubah menjadi tenaga listrik.

Perencanaan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) di desa Kobo Kecil dengan memanfaatkan potensi air sungai Moayat. Di mulai dengan menghitung debit air dan head yang ada sehingga dapat diperkirakan kemampuan PLTM yang akan dibangun. Kemudian direncanakan pembuatan komponen-komponen PLTM, seperti: bendung, bangunan pengambilan, saluran penghantar air, bak penenang, pipa pesat, rumah pembangkit dan saluran pelimpah. Dimana untuk gedung pembangkit terdapat peralatan utama, seperti: turbin, generator, dan transformator.

Kata Kunci: Debit Air, Generator, Ketinggian Jatuh Air, Turbin.

I. PENDAHULUAN

Di era modern sekarang ini banyak wilayah di Indonesia yang secara perlahan terbuka menjadi daerah maju. Perkembangan suatu daerah menjadi daerah maju ditandai dengan bertambahnya jumlah penduduk yang tentunya membutuhkan energi listrik yang harus memadai juga. Kebutuhan energi listrik bagi

masyarakat sekarang ini sangat dibutuhkan sejalan dengan aktifitas sehari-hari dan kemajuan teknologi.

Perkembangan ini tak lepas dari kebutuhan listrik yang besar, sehingga sering terjadinya pemadaman atau *blackout* listrik secara tiba-tiba. Guna untuk memenuhi kebutuhan listrik di suatu wilayah, maka wilayah tersebut harus memiliki tambahan suplai energi listrik dari suatu pembangkit. Hal ini secara langsung maupun tidak langsung akan mendongkrak perekonomian dan kesejahteraan masyarakat.

Di Sulawesi Utara sendiri untuk pembangkit listrik Sistem Minahasa tercatat memiliki 18 pembangkit listrik milik PLN (Perusahaan Listrik Negara) untuk wilayah Sulawesi Utara dan Gorontalo. Terdiri dari Pembangkit Minahasa: PLTD Bitung, PLTD Lopana; PLTA Tonsea Lama, PLTA Tenggari 1, PLTA Tenggari 2; PLTP Lahendong; PLTU 2 Amurang; Sewa pembangkit kapal MVPP. Untuk Pembangkit Kotamobagu: PLTD Kotamobagu; PLTD Molibagu; PLTM Poigar; PLTM Mobuya; PLTM Lobong. Dan untuk Pembangkit Gorontalo: PLTD Telaga; PLTD Tilamuta; PLTD Marisa; PLTM Taludaa; PLTU Molotabu.

Oleh karena terjadi peningkatan kebutuhan energi listrik di Sulawesi Utara khususnya pada Sistem Minahasa maka pengadaan pembangkit listrik yang efektif dan efisien sangat dibutuhkan untuk memenuhi energi listrik yang diperlukan. Untuk itu juga diperlukan perencanaan pembangkit listrik. Kami melakukan tugas akhir berupa Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro di Sungai Moayat Desa Kobo Kecil Kota Kotamobagu.

A. Energi

Energi adalah kemampuan untuk melakukan usaha (kerja) atau melakukan suatu perubahan. Energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, tetapi dapat dirubah bentuknya. Menurut dari sumber di dapatnya energi terbagi menjadi 2 antara lain seperti yang disebutkan pada:[8]

- 1) Energi Tak Terbarukan
- 2) Energi Terbarukan

TABEL I
KLASIFIKASI PLTA

Klasifikasi Pembangkit	Daya
<i>Large Hydro</i>	> 100 MW
<i>Medium Hydro</i>	15 - 100 MW
<i>Small Hydro</i>	1 - 15 MW
<i>Mini Hydro</i>	100 kW < x < 1 MW
<i>Micro Hydro</i>	5 - 100 kW
<i>Pico Hydro</i>	< 5 kW

Sumber: Dwiyanto, 2016

B. Potensi Tenaga Air

Pada Umumnya, potensi tenaga air berlainan bila dibandingkan dengan penggunaan tenaga yang biasanya berasal dari bahan bakar fosil.[8]

C. Definisi Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro

Sistem pembangkit minihidro cocok untuk menjangkau ketersediaan jaringan energi listrik di daerah – daerah terpencil dan pedesaan. Perbedaan klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) terletak pada besarnya tenaga listrik yang dihasilkan, (lihat pada Tabel I) PLTA ukuran 100 – 1000 kW digolongkan sebagai minihidro.

D. Pemilihan Lokasi PLTM

Beberapa faktor yang menentukan dalam pemilihan lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro adalah sebagai berikut:

1) Debit Air

Debit air dapat dihitung dengan persamaan (1) sebagai berikut:[2]

$$Q = A \cdot V \quad (1)$$

dimana: Q = Debit air (m³/s)
A = Luas bagian penampang basah (m²)
V = Kecepatan aliran air rata-rata (m/s)

2) Menentukan Tinggi Jatuh Air

Dalam menentukan perhitungan tinggi jatuh efektif adalah menggunakan persamaan (2) sebagai berikut:[6]

$$h = \text{Head bruto} - \text{Head losses} \quad (2)$$

dimana: h / Hefs = Tinggi jatuh efektif (meter)
Head bruto = Perbedaan tinggi elevasi antara *Stilling Pond* dan *Tail Race* (Head bruto= Elevasi *stilling pond* – Elevasi *tail race*)
Head losses= Kehilangan tinggi energi (Head losses = Head bruto x 10%)

3) Kondisi Geologis dan Keadaan Air

4) Faktor Sosial dan Ekonomi

E. Komponen PLTM

Berikut komponen – komponen yang digunakan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro baik komponen utama maupun bangunan penunjang antara lain:

1) Bendung (Weir)

Dalam menentukan kemiringan saluran menggunakan persamaan (3) sebagai berikut:(Rumus Chezy)

$$V = C\sqrt{R \cdot S} \quad (3)$$

dimana: V = Kecepatan aliran (m/s)
C = Koefisien Chezy
R = Jari – jari hidrolik (meter)
S = Kemiringan sungai

2) Bangunan Pengambilan (Intake)

Kebutuhan pengambilan debit rencana untuk bangunan pengambilan sama dengan debit yang direncanakan untuk saluran penghantar, yaitu 1,2 x Qrencana. Tetapi dengan adanya kantong lumpur, debit rencana pengambilan ditambah 20% sehingga debit rencana pada bangunan pengambilan adalah 1,2 x Qsaluran. Dimensi bangunan pengambilan di dapat dengan persamaan (4) sebagai berikut:[1]

$$V = \mu \cdot g \cdot z \quad (4)$$

Kehilangan tinggi energi pada bukaan menggunakan pers. (5), juga diperoleh pers. (6) sebagai berikut:

$$z = (V/\mu)^2 \cdot (1/2g) \quad (5)$$

Maka,

$$Q = V \cdot b \cdot a \quad (6)$$

dimana: V = Kecepatan pengambilan rencana (m/s)
 μ = Koefisien debit air untuk bukaan dibawah permukaan air dengan kehilangan tinggi energi kecil (0,85)
g = Gravitasi (9,81 m²/s)
z = Kehilangan tinggi energi pada bukaan (meter)
b = Lebar bukaan (meter)
a = Tinggi bukaan (meter)

3) Saluran Penghantar (Waterway)

Kecepatan aliran air pada saluran penghantar dihitung menggunakan persamaan (7) sebagai berikut:(Rumus Manning)

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \quad (7)$$

Kemiringan saluran penghantar menggunakan persamaan (8) sebagai berikut:

$$S = \frac{\text{Tinggi saluran (y)}}{\text{Panjang saluran (x)}} \quad (8)$$

dimana: V = Kecepatan aliran (m/s)
 n = Koefisien manning
 R = Jari – jari hidrolis
 S = Kemiringan saluran
 m = Kemiringan penampang

4) *Bak Penenang (Stilling Pond)*

Untuk menghitung kedalaman air pada bak penenang yang arah alirannya tegak lurus dengan arah aliran pipa pesat menggunakan persamaan (9) sebagai berikut:[1]

$$h = s + D + f \quad (9)$$

kedalaman air diatas pipa pesat menggunakan persamaan (10) sebagai berikut:

$$s = 0,54 \cdot V \cdot D^{0,5} \quad (10)$$

dimana: h = Kedalaman air bak penenang (meter)
 s = Kedalaman air diatas pipa pesat (meter)
 f = Kedalaman air dibawah pipa pesat (meter)
 D = Diameter pipa pesat (meter)
 V = Kecepatan aliran pipa pesat (m/s)

Untuk menentukan besarnya volume yang ada pada bak penenang maka dapat menggunakan persamaan (11) berikut:[2]

$$V = L \cdot T \quad (11)$$

dimana: V = Volume air (m³)
 L = Luas bak penenang (m²)
 T = h = Kedalaman air bak penenang (meter)

5) *Pipa Pesat (Penstock)*

Perhitungan diameter pipa berdasarkan persamaan (12) adalah sebagai berikut:[5]

$$D = 0,72 \cdot Q^{0,5} \quad (12)$$

dimana: D = Diameter pipa pesat (meter)
 Q = Debit air (m³/s)

Untuk menentukan kecepatan aliran pipa pesat menggunakan persamaan (13) sebagai berikut: (Rumus Hazen – Williams)

$$V = 0,3545 \cdot C \cdot D^{0,63} \cdot s^{0,54} \quad (13)$$

dimana: V = Kecepatan aliran pipa pesat (m/s)
 C = Koefisien Hazen – Williams

$$s = \text{Gradient hidrolis (} s = \frac{H_f}{L} \text{)}$$

Besarnya kehilangan energi akibat gesekan pada pipa pesat menggunakan persamaan (14) sebagai berikut

$$H_f = \frac{10,67 Q^{1,85}}{C^{0,65} D^{0,54}} \cdot L \quad (14)$$

dimana: H_f = Kehilangan energi
 L = Panjang pipa (meter)

6) *Gedung Pembangkit (Power House)*

Berikut ini ada beberapa instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro dalam rumah pembangkit yaitu:

a. *Turbin*

Pemilihan jenis turbin dapat diperhitungkan dengan mempertimbang kan parameter – parameter khusus yangmempengaruhi sistem operasi turbin, yaitu:

1. *Berdasarkan Kecepatan Spesifik (Ns)*

Kecepatan spesifikasi (Ns) adalah kecepatan (putaran) turbin yang akan ditransmisikan ke generator. Faktor tersebut seringkali diekspresikan sebagai "kecepatan spesifik, Ns", yang didefinisikan melalui persamaan (15) :[4]

$$N_s = \frac{N\sqrt{P}}{H_{efs}^{5/4}} \quad (15)$$

dimana: N_s = Kecepatan spesifik turbin (rpm)
 N = Kecepatan putaran turbin (rpm)
 H_{efs} = Tinggi jatuh efektif (m)
 P = Keluaran daya turbin (Hp)

2. *Berdasarkan Head*

Pemilihan pengoperasian turbin air berdasarkan head dan debit air dapat dilihat pada Tabel IX.

3. *Besar Nilai Efisiensi Turbin*

Pemilihan pengoperasian turbin air berdasarkan nilai efesiensi dapat dilihat pada Tabel X.

Untuk keluaran daya turbin ditentukan dengan persamaan (16) yaitu sebagai berikut:[2]

$$P_T = \rho \cdot Q \cdot g \cdot h \cdot \eta_T \quad (16)$$

dimana: P_T = Keluaran daya turbin (watt)
 ρ = Densitas air (998 kg/m³)
 g = Gravitasi (9,81 m²/s)
 h = Tinggi jatuh efektif (m)
 η_T = Efisiensi turbin

b. Generator

Untuk menentukan besarnya daya generator menggunakan persamaan (17) sebagai berikut:[2]

$$P_G = \rho \cdot Q \cdot g \cdot h \cdot \eta_G \quad (17)$$

dimana: P_G = Keluaran daya generator (watt)
 η_G = Efisiensi generator

Untuk menentukan keluaran arus listrik dari generator sinkron menggunakan persamaan (18) sebagai berikut:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \phi} \quad (18)$$

dimana: I = Arus generator sinkron (ampere)
 P = Keluaran daya generator (watt)
 V = Tegangan keluaran generator (volt)
 $\cos \phi$ = Faktor daya (0,9)

F. Pembangkitan Daya

Efisiensi keseluruhan Pembangkit Listrik Tenaga Air didapat dari persamaan (19) berikut:[2]

$$\eta = \eta_t \cdot \eta_g \cdot \eta_h \quad (19)$$

dimana : η_t = Efisiensi turbin
 η_g = Efisiensi generator
 η_h = Efisiensi hidrolis

Dengan demikian, besarnya keluaran daya didapat persamaan (20) sebagai berikut:

$$P = \rho \cdot Q \cdot g \cdot h \cdot \eta \quad (20)$$

dimana : P = Keluaran daya (watt)
 η = Efisiensi keseluruhan PLTA

II. METODE PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Sungai Moayat adalah sungai yang berada di desa Kobo Kecil, Kota Kotamobagu Timur (lihat pada Gambar 1). Topografi di lokasi perencanaan PLTM ini adalah sungai dengan wilayah yang berbukit – bukit dimana arah hulu sungai Moayat adalah kawasan hutan lindung yang berbatasan dengan wilayah Kabupaten Bolaang Mongondow Timur di sisi selatan serta berbatasan dengan wilayah Kabupaten Minahasa Selatan di sisi barat. Lokasi ini dapat diakses dengan mengikuti jalan perkebunan dari desa Kobo Kecil melewati desa Modayag sejauh ± 4 km ke arah jembatan gantung. Kemudian menuju hulu sungai Moayat dimana lokasi Bangunan Pengambilan berada sejauh ± 1 km dengan elevasi 370 meter di titik koordinat 00°

$42^\circ 28,4''$ LU/LS $124^\circ 21' 41,5''$ BT. Untuk area tangkapan air untuk perencanaan PLTM (lihat pada gambar 2). Jarak Bangunan Pengambilan ke arah lokasi Bak Penenang $\pm 1,8$ km dengan elevasi 368 meter di titik koordinat $0^\circ 41,75'$ LU/LS $124^\circ 20,53'$ BT. kemudian ± 250 meter ke arah gedung pembangkit dengan elevasi 301 m di titik koordinat $0^\circ 41,86'$ LU/LS $124^\circ 20,34'$ BT (lihat pada gambar 3). Untuk memperkirakan arus sungai, saya melakukan survey dan beberapa pengukuran arus sungai di sekitar jembatan gantung sungai Moayat. Lebar sungai Moayat di lokasi Bendung adalah 11 meter dengan rata – rata tinggi air 0,5570 meter dan kecepatan aliran rata – rata 0,6049 m/s. Sebagaimana PLTM yang mengandalkan aliran sungai dari hulu, maka arus sungai yang relevan untuk lokasi ini yang diperkirakan berdasarkan data yang diperoleh di lokasi adalah 3,7062 m³/s. Lokasi gedung pembangkit bisa diakses dari jalan perkebunan Desa Kobo ke pinggir sungai. Dengan adanya perencanaan pembangunan PLTM di lokasi tersebut diperkirakan tidak akan banyak berdampak pada kawasan hutan lindung yang berada beberapa kilometer ke arah hulu. Tidak terdapat pemukiman di sekitar rencana lokasi PLTM kecuali kebun milik masyarakat setempat.

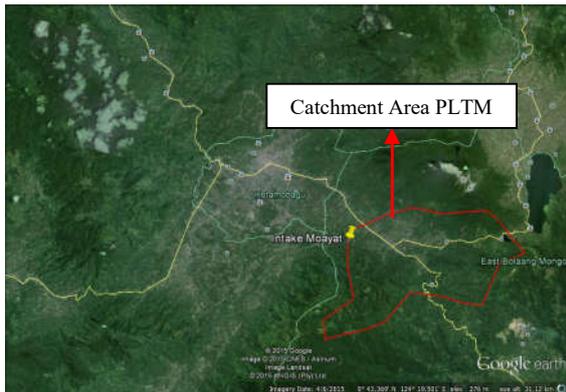
B. Data – Data Penelitian

Setiap penelitian akan membutuhkan data – data pendukung guna untuk menyelesaikan tugas akhir.

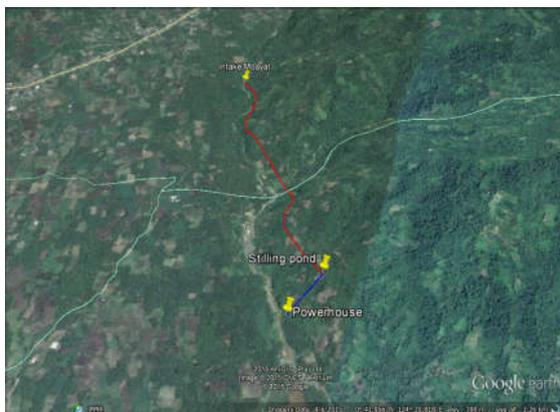
- 1) *Data Debit Air Melalui Pengukuran Langsung dan Perhitungan*
- 2) *Data Curah Hujan Tahun 2010 – 2017 Wilayah Kota Kotamobagu Timur di Balai Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*
- 3) *Data Jumlah Pelanggan dan Jumlah Total Daya Pelanggan Tahun 2007 – 2017 di PT. PLN (Persero) cabang Kota Kotamobagu*
- 4) *Data Elevasi dan Titik Koordinat Menggunakan Sistem Pemosisi Global (GPS)*



Gambar 1. Peta Wilayah Sulawesi Utara (Sumber: Hidayatullah, 2009)



Gambar 2. Area Tangkapan untuk Perencanaan PLTM (Sumber: Google Earth, 2015)



Gambar 3. Jalur Perencanaan PLTM dari Arah Timur (Sumber: Google Earth, 2015)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Debit Air

Hasil perhitungan debit air lihat pada Tabel II. Perhitungan adalah sebagai berikut:

1) Debit Air Sungai

- Luas penampang sungai : $A = \text{Lebar Sungai} \cdot \text{Tinggi Air}$
 $= 11 \cdot 0,5570$
 $= 6,1270 \text{ m}^2$
- Kecepatan aliran : $V = 0,6049 \text{ m/s}$

Debit air sungai : $Q = A \cdot V$
 $= 6,1270 \cdot 0,6049$
 $= 3,7062 \text{ m}^3/\text{s}$

2) Debit Air Rencana

- Luas penampang saluran : $A = b \cdot h + m \cdot h^2$
 $= 1,80 \cdot 0,60 + 0,3333 \cdot 0,60^2$
 $= 1,1998 \text{ m}^2$
- Kecepatan aliran: $V = 1,4471 \text{ m/s}$

Debit air rencana : $Q = A \cdot V$
 $= 1,1998 \cdot 1,4515$
 $= 1,7415 \text{ m}^3/\text{s}$

TABEL II
HASIL PERHITUNGAN DEBIT AIR

No	Perhitungan	Nilai
1.	Debit air sungai	3,7062 m ³ /s
2.	Debit air rencana	1,7415 m ³ /s

B. Perhitungan Tinggi Jatuh Efektif

Perhitungan head netto atau tinggi jatuh air efektif adalah sebagai berikut:

Tinggi jatuh efektif
 $: h = \text{Head bruto} - \text{Head losses}$
 $= (368 \text{ m} - 301 \text{ m}) - (\text{Head bruto} \cdot 10\%)$
 $= 67 - (67 \cdot 0,1)$
 $= 67 - 6,7$
 $= 60,3 \text{ m}$

C. Analisa perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro Sungai Moayat

Dalam perencanaan ini akan membahas komponen - komponen pembangkit listrik tenaga minihidro, yaitu sebagai berikut:

1) Bendung (Weir)

Bendung ini berada di elevasi 370 meter dengan titik koordinat 00° 42' 28.4" LU/LS 124° 21' BT. Hasil perhitungan untuk perencanaan Bendung lihat pada Tabel III. Perhitungan adalah sebagai berikut:

- Koefesien Chezy (koefesien saluran dengan sedikit rumput liar yang pendek)

: $C = 30$

- Lebar dasar : $b = 11 \text{ m}$

- Kedalaman air : $h = 0,5570 \text{ m}$

- Lebar puncak : $B = b$
 $= 11 \text{ m}$

- Luas penampang saluran : $A = b \cdot h$
 $= 11 \cdot 0,5570$
 $= 6,1270 \text{ m}^2$

- Keliling basah saluran : $P = b + 2h$
 $= 11 + 2 \cdot 0,5570$
 $= 12,1140 \text{ m}$

- Jari – jari hidrolis : $R = \frac{A}{P}$
 $= \frac{6,1270}{12,1140}$
 $= 0,5058 \text{ m}$

- Kecepatan aliran : $V = 0,6049 \text{ m/s}$

Kemiringan sungai : $S^{1/2} = \frac{V}{C\sqrt{R}}$
 $= \frac{0,6040}{30 \cdot \sqrt{0,5058}}$
 $S = 0,0283^{1/2}$
 $= 0,1682$

TABEL III
HASIL PERHITUNGAN UNTUK PERENCANAAN BENDUNG

No	Perhitungan	Nilai
1.	Lebar dasar	11 m
2.	Lebar puncak	11 m
3.	Kedalaman air	0,5570 m
4.	Luas penampang saluran	6,1270 m ²
5.	Keliling basah saluran	12,1140 m
6.	Jari – jari hidrolis	0,5058 m
7.	Kecepatan aliran	0,6049 m/s
8.	Kemiringan sungai	0,1682

2) *Bangunan Pengambilan (Intake)*

Bangunan pengambilan atau intake ini berada di elevasi 370 meter dengan titik koordinat lokasi 00° 42' 28.4" LU/LS 124° 21' BT. Perencanaan bangunan pengambilan ini akan mengalirkan air sungai dalam keadaan bersih dari sedimen, untuk itu akan mempunyai kelengkapan saluran penguras sedimen didepan *intake*, seperti saringan sedimen (*screen*) dan kelengkapan penggaruk (*Raking sistem*), juga penempatan akses jalan untuk pemeliharaan pintu intake dan jembatan inspeksi, serta akan menggunakan pintu buka – tutup (*stop-log*) untuk mengatur banyaknya debit air yang masuk. Hasil perhitungan (lihat pada Tabel IV) serta desain dasar (lihat pada Gambar 4) untuk perencanaan Bangunan Pengambilan. Perhitungan adalah sebagai berikut:

- Debit rencana disesuaikan dengan debit pada saluran penghantar: $Q_{rencana} = 1,7415 \text{ m}^3/\text{s}$

Debit air pada bangunan pengambilan
 $Q_{intake} = 1,2 \times Q_{rencana}$
 $= 1,2 \times 1,7415$
 $= 2,0898 \text{ m}^3/\text{s}$

Kehilangan tinggi energi pada bukaan
 $z = (V/\mu)^2 \cdot (1/2g)$
 $= (1,4515/0,85)^2 \cdot (1/2 \cdot 9,81)$
 $= 2,8984 \cdot 0,0509$
 $= 0,1475$

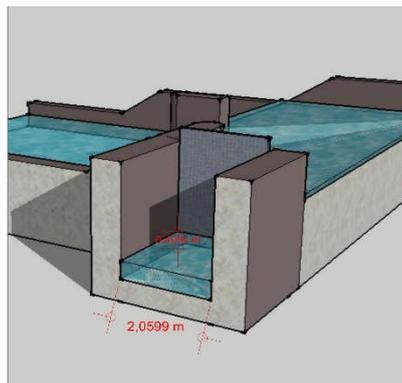
Kecepatan aliran pada bukaan
 $V = \mu \cdot 2g \cdot z$
 $= 0,85 \cdot 2 \cdot 9,81 \cdot 0,1486$
 $= 2,4782 \text{ m/s}$

Elevasi dasar bangunan pengambilan diketahui adalah 370 meter. Elevasi muka air sebelum pintu pengambilan pada keadaan normal 370,56 m. Sehingga tinggi dan lebar bukaan pada bangunan pengambilan menjadi:

Tinggi bukaan : $a = (370,5570 - 370) - z$
 $= 0,5570 - 0,1475$
 $= 0,4094 \text{ m}$

TABEL IV
HASIL PERHITUNGAN UNTUK PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMBILAN

No	Perhitungan	Nilai
1.	Lebar bukaan	2,0559 m
2.	Tinggi bukaan	0,4094 m
3.	Debit air pada bangunan pengambilan	2,0898 m ³ /s
4.	Kehilangan tinggi energi pada bukaan	0,1475
5.	Kecepatan aliran pada bukaan	2,4782 m/s



Gambar 4. Desain Dasar Bangunan Pengambilan

$$\begin{aligned} \text{Lebar bukaan} & : b = \frac{Q}{V \cdot a} \\ & = \frac{2,0898}{2,4782 \cdot 0,4094} \\ & = 2,0599 \text{ m} \end{aligned}$$

3) *Saluran Penghantar (Waterway)*

Jalur saluran penghantar atau waterway didapat dengan survei lapangan dan analisa lewat kontur dalam peta. Perancangan saluran penghantar ini akan menggunakan bentuk trapesium dengan dimensi hidrolis saluran hantar yang akan dirancang sesuai dengan debit air untuk keperluan pembangkit. Dimensi struktur saluran hantar akan memenuhi faktor keamanan untuk kombinasi sistem pembebanan yang paling tidak menguntungkan dan sesuai dengan peraturan yang berlaku, yaitu aman terhadap pengaruh kondisi lingkungan diantaranya adalah aman terhadap kemungkinan masuknya/hanyutnya manusia, binatang dan benda lain yang akan mengganggu pengoperasian pembangkit. Juga akan disiapkan fasilitas penunjang untuk kelancaran aliran debit air seperti bangunan talang, siphon, jembatan, saluran pelimpah, pintu penguras, jalan inspeksi dan bangunan lain yang sesuai dengan kebutuhan kondisi di lapangan. Hasil perhitungan (lihat pada Tabel V) serta desain dasar (lihat pada Gambar 5) untuk perencanaan Saluran Penghantar. Perhitungan adalah sebagai berikut:

- Koefesien Manning (koefesien normal untuk beton yang dipoles) : $n = 0,012$

- Lebar dasar : $b = 1,80 \text{ m}$
- Kedalaman air : $h = 0,60 \text{ m}$
- Lebar puncak : $B = b + 2m.h$
 $= 1,80 + 2 \cdot 0,3333 \cdot 0,60$
 $= 2,1999 \text{ m}$
- Kemiringan penampang : $m = \frac{y}{x}$
 $= \frac{0,60}{1,80}$
 $= 0,3333$
- Luas penampang saluran : $A = b.h + m.h^2$
 $= 1,80 \cdot 0,60 + 0,3333 \cdot 0,60^2$
 $= 1,1998 \text{ m}^2$
- Keliling basah saluran : $P = b + 2h \sqrt{1 + m^2}$
 $= 1,80 + 2 \cdot 0,6 \sqrt{1 + 0,3333^2}$
 $= 3,1856 \text{ m}$
- Jari – jari hidrolis : $R = \frac{A}{P}$
 $= \frac{1,1998}{3,1856}$
 $= 0,3766 \text{ m}$
- Kemiringan saluran : $S = \frac{y}{x}$
 $= \frac{2}{1789,2}$
 $= 0,0011$

Kecepatan aliran saluran penghantar

$$: V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

$$= \frac{1}{0,012} \cdot 0,3766^{2/3} \cdot 0,0011^{1/2}$$

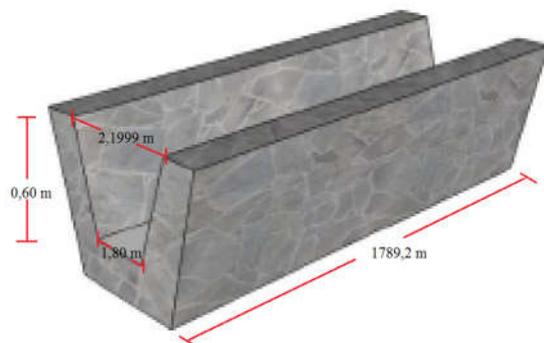
$$= 83,3333 \cdot 0,5215 \cdot 0,0334$$

$$= 1,4515 \text{ m/s}$$

4) Bak Penenang (Stilling Pond)

Bak penenang atau *stilling pond* terletak sebelum air masuk kedalam saluran pipa pesat yang mempunyai kemiringan tajam dan masuk menghantam sudu-sudu baling-baling turbin. Bak penenang ini berada di elevasi 368 meter dengan titik koordinat 0° 41.75' LU/LS 124° 20.53' BT. Perencanaan bak penenang ini akan disediakan bangunan pelengkap seperti bangunan pelimpah, fasilitas pengurusan sedimen, saringan, pintu buka – tutup (*stop-log*), jembatan inspeksi dan bangunan lain sesuai kebutuhan kondisi lapangan. Hasil perhitungan (lihat pada Tabel VI) serta desain dasar (lihat pada Gambar 6) untuk perencanaan Bak Penenang. Perhitungan adalah sebagai berikut:

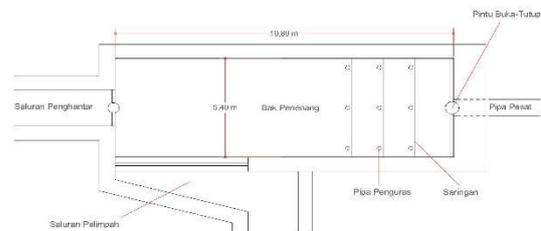
- Debit air rencana : $Q = 1,7415 \text{ m}^3/\text{s}$
- Diameter pipa pesat : $D = 0,9369 \text{ m}$
- Luas penampang pipa pesat : $A = \frac{1}{4} \pi D^2$
 $= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 0,9369^2$
 $= 0,6890 \text{ m}^2$
- Kecepatan aliran saat memasuki pipa pesat : $V = \frac{Q}{A}$
 $= \frac{1,7415}{0,6890}$
 $= 2,5275 \text{ m/s}$



Gambar 5. Desain Dasar Saluran Penghantar

TABEL V
HASIL PERHITUNGAN UNTUK PERENCANAAN SALURAN PENGHANTAR

No	Perhitungan	Nilai
1.	Lebar dasar	1,80 m
2.	Lebar puncak	2,1999 m
3.	Kedalaman air	0,60 m
4.	Kemiringan penampang	0,3333
5.	Luas penampang saluran	1,1998 m ²
6.	Keliling basah saluran	3,1856 m
7.	Jari – jari hidrolis	0,3766 m
8.	Kemiringan saluran	0,0011
9.	Kecepatan aliran	1,4515 m/s



Gambar 6. Desain Dasar Bak Penenang

$$\begin{aligned} \text{Kedalaman air diatas pipa pesat} \\ : s &= 0,54 \cdot V \cdot D^{0,5} \\ &= 0,54 \cdot 2,5275 \cdot 0,9369^{0,5} \\ &= 1,1980 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Kedalam air dibawah pipa pesat : } f = 0,15 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Kedalaman air bak penenang} \\ : h &= s + D + f \\ &= 1,1980 + 0,9369 + 0,15 \\ &= 2,2849 \text{ m} \end{aligned}$$

Dengan melihat lokasi dan melakukan pengukuran serta perhitungan maka dapat disimpulkan bahwa volume tampungan bak penenang adalah 133,2553 m³ dengan luas bak penenang 58,32 m² dan kedalaman bak penenang 2,2849 meter. Bak penenang akan dibuat berbentuk persegi dengan panjang saluran adalah 10,8 meter dan lebar saluran 5,40 meter, maka perhitungan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{- Lebar bak penenang} & : B = 3 \cdot b \\ & = 3 \cdot 1,80 \\ & = 5,40 \text{ m} \\ \text{- Panjang bak penenang} & : L = 2 \cdot B \\ & = 2 \cdot 5,40 \\ & = 10,80 \text{ m} \\ \text{- Luas bak penenang} & : A = L \cdot B \\ & = 10,80 \cdot 5,40 \\ & = 58,32 \text{ m}^2 \\ \text{- Kedalaman air bak penenang} & : T = h \\ & = 2,2849 \text{ m} \\ \text{Volume Bak Penenang} & : V = A \cdot T \\ & = 58,32 \cdot 2,2849 \\ & = 133,2553 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

5) Pipa Pesat (Penstock)

Kegunaan pipa pesat atau *penstock* adalah membawa air dari bak penenang menuju ke arah turbin. Hasil perhitungan untuk perencanaan Pipa Pesat lihat pada Tabel VII. Perhitungan adalah sebagai berikut:

$$\text{- Debit air rencana} : Q = 1,7415 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\begin{aligned} \text{Diameter Penstock} & : D = 0,72 (Q)^{0,5} \\ & = 0,71 (1,7415)^{0,5} \\ & = 0,9369 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Koefesien Hazen – Williams (koefesien untuk pipa} \\ \text{besi digalvanis)} & : C = 120 \\ \text{- Diameter pipa pesat} & : D = 0,9369 \text{ m} \\ \text{- Debit air rencana} & : Q = 1,7415 \text{ m}^3/\text{s} \\ \text{- Panjang pipa pesat} & : L = 288 \text{ m} \end{aligned}$$

Besarnya kehilangan energi

$$\begin{aligned} : H_f &= \frac{10,67 \cdot Q^{1,85}}{C^{0,65} \cdot D^{0,54}} \cdot L \\ &= \frac{10,67 (1,7415)^{1,85}}{120^{0,65} \cdot 0,9369^{0,54}} \cdot 288 \\ &= \frac{29,7764}{22,4630 \cdot 0,9654} \cdot 288 \\ &= 395,4423 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Koefesien Hazen – Williams (koefesien untuk pipa} \\ \text{besi digalvanis)} & : C = 120 \\ \text{- Diameter pipa pesat} & : D = 0,9369 \text{ m} \\ \text{- Gradient hidrolis} & : s = \frac{H_f}{L} \\ & = \frac{395,4423}{288} \\ & = 1,0258 \text{ m} \end{aligned}$$

Kecepatan aliran pipa pesat

$$\begin{aligned} : V &= 0,3545 \cdot C \cdot D^{0,63} \cdot s^{0,54} \\ &= 0,3545 \cdot 120 (0,9369)^{0,63} \cdot (1,0258)^{0,54} \\ &= 42,54 \cdot 0,9723 \cdot 1,1954 \\ &= 49,4482 \text{ m/s} \end{aligned}$$

TABEL VI
HASIL PERHITUNGAN UNTUK PERENCANAAN BAK PENENANG

No	Perhitungan	Nilai
1.	Kedalaman air bak penenang	2,2849 m
2.	Lebar bak penenang	5,40 m
3.	Panjang bak penenang	10,8 m
4.	Volume bak penenang	133,2553 m ³

TABEL VII
HASIL PERHITUNGAN UNTUK PERENCANAAN PIPA PESAT

No	Perhitungan	Nilai
1.	Diameter Pipa Pesat	0,9369 m
2.	Panjang pipa pesat	288 m
3.	Besarnya Kehilangan Energi Akibat Gesekan	395,4423
4.	Gradient hidrolis	1,0258 m
5.	Kecepatan aliran pipa pesat	49,4482 m/s

6) Turbin

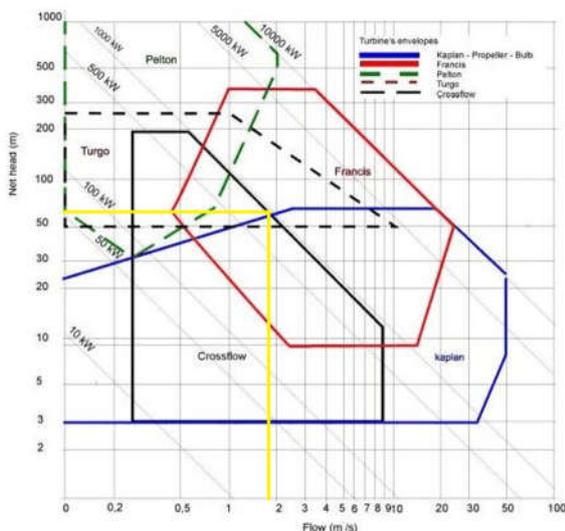
Dari grafik pemilihan turbin berdasarkan debit air dan head (lihat pada Gambar 7) dapat diketahui dengan debit yang masuk pada turbin adalah $Q = 1,7415 \text{ m}^3/\text{s}$ dan $h = 60,3$ meter, dengan menarik garis dari sumbu x (debit air) dan y (head netto) ditunjukkan garis kuning didapat wilayah ideal dari turbin standar Francis yaitu daya keluaran dibawah 1000 kW. Dengan demikian dapat ditentukan untuk pemilihan turbin Francis dapat diterima dalam perencanaan turbin ini. Perencanaan turbin akan menggunakan tipe turbin Francis karena sesuai pemilihan jenis sebagai berikut:

a. Berdasarkan Kecepatan Spesifik

- Kecepatan putaran turbin: $N = 720 \text{ rpm}$
- Tinggi jatuh efektif : $H_{efs} = h = 60,3 \text{ m}$
- Daya output turbin (Hp) : $P = \frac{927.160,24}{745,7} = 1243,34 \text{ Hp}$

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan spesifik turbin : } N_s &= \frac{N\sqrt{P}}{H_{efs}^{5/4}} \\ &= \frac{720 \sqrt{1243,34}}{60,3^{5/4}} \\ &= \frac{720 \cdot 35,26}{168,03} \\ &= \frac{25387,93}{168,03} \\ &= 151,09 \text{ rpm} \end{aligned}$$

Maka menggunakan turbin Francis dengan kecepatan spesifik $60 \leq N_s \leq 300 \text{ rpm}$ (lihat pada Tabel VIII).



Gambar 7. Grafik Pemilihan berdasarkan Debit Air dan Head (Layman's Guidebooks, 1998)

b. Berdasarkan Tinggi Jatuh Efektif (Head Netto)

$$\begin{aligned} h &= \text{Head bruto} - \text{Head losses} \\ &= (368 \text{ m} - 301 \text{ m}) - (\text{Head bruto} \cdot 10\%) \\ &= 67 - (67 \cdot 0,1) \\ &= 67 - 6,7 \\ &= 60,3 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka menggunakan turbin Francis dengan head netto $10 \leq H \leq 350$ (lihat pada Tabel IX).

c. Berdasarkan Besar Nilai Efisiensi Turbin

Maka menggunakan turbin Francis dengan efisiensi turbin 0,9 (lihat pada Tabel X).

Hasil perhitungan untuk perencanaan Pipa Pesat lihat pada Tabel XI. Perhitungan keluaran daya turbin adalah sebagai berikut:

- Head netto : $h = 60,3 \text{ m}$
- Debit air rencana : $Q = 1,7415 \text{ m}^3/\text{s}$
- Efisiensi alat : $\eta_{\text{Turbin}} = 0,9$

Keluaran daya turbin

$$\begin{aligned} P_T &= \rho \cdot Q \cdot g \cdot h \cdot \eta_T \\ &= 998 \cdot 1,7415 \cdot 9,81 \cdot 60,3 \cdot 0,9 \\ &= 927.160,24 \text{ W} \\ &= 927,16 \text{ kW} \end{aligned}$$

TABEL VIII
JENIS TURBIN BERDASARKAN KECEPATAN SPESIFIK

No	Jenis Turbin	Kecepatan Spesifik
1.	Pelton dan Kincir air	$10 \leq N_s \leq 35$
2.	Francis	$60 \leq N_s \leq 300$
3.	Cross-Flow	$40 \leq N_s \leq 200$
4.	Kaplan dan Propeller	$250 \leq N_s \leq 1000$

Sumber: Dietzel,1983

TABEL IX
JENIS TURBIN BERDASARKAN HEAD

No	Jenis Turbin	Nilai Head
1.	Pelton	$50 < H < 1000$
2.	Francis	$10 < H < 350$
3.	Cross-Flow	$6 < H < 100$
4.	Kaplan dan Propeller	$2 < H < 20$
5.	Turgo	$50 < H < 250$

Sumber: Dietzel,1983

TABEL X
JENIS TURBIN BERDASARKAN NILAI EFISIENSI

No	Jenis Turbin	Nilai Efisiensi
1.	Cross-Flow	0,7 - 0,8
2.	Pelton	0,8 - 0,85
3.	Francis	0,8 - 0,9
4.	Kaplan dan Propeller	0,8 - 0,9

Sumber: Dietzel,1983

TABEL XI
HASIL PERHITUNGAN UNTUK PERENCANAAN TURBIN

No	Perhitungan	Nilai
1.	Kecepatan spesifik turbin	151,09 rpm
2.	Tinggi jatuh efektif	60,3 m
3.	Besar nilai efisiensi turbin	0,9
4.	Keluaran daya turbin	927,16 kW

7) Generator

Dengan daya mekanik generator yang adalah sebesar 822,49 kW, maka jenis generator yang akan digunakan pada PLTM ini adalah generator sinkron yang dilengkapi dengan AVR (*Automatic Voltage Regulator*) untuk pengaturan tegangan. Besar nilai efisiensi generator adalah 0,8 dengan jumlah pole 4 kutub dan kecepatan putar generator 1500 rpm frekuensi 50 Hz. Hasil perhitungan untuk perencanaan Generator lihat pada Tabel XII. Perhitungan besarnya keluaran daya dari generator adalah sebagai berikut:

- Head netto : $h = 60,3 \text{ m}$
- Debit air rencana : $Q = 1,7415 \text{ m}^3/\text{s}$
- Efisiensi alat : $\eta \text{ Generator} = 0,8$

Keluaran daya generator

$$\begin{aligned} : P_G &= \rho \cdot Q \cdot g \cdot h \cdot \eta_G \\ &= 998 \cdot 1,7415 \cdot 9,81 \cdot 60,3 \cdot 0,8 \\ &= 822.489,43 \text{ W} \\ &= 822,49 \text{ kW} \end{aligned}$$

Perhitungan keluaran arus listrik dari generator sinkron adalah sebagai berikut:

- Keluaran daya generator : $P = 822.489,43 \text{ W}$
- Tegangan keluaran generator : $V = 360 \text{ V}$
- Faktor daya : $\cos \phi = 0,9$

$$\begin{aligned} \text{Arus generator sinkron} : I &= \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \phi} \\ &= \frac{822.489,43}{\sqrt{3} \cdot 360 \cdot 0,9} \\ &= 1465,643 \text{ A} \end{aligned}$$

TABEL XII
HASIL PERHITUNGAN UNTUK PERENCANAAN GENERATOR

No	Perhitungan	Nilai
1.	Efisiensi generator	0,8
2.	Tegangan keluaran generator	360 V
3.	Faktor daya	0,9
4.	Keluaran daya generator	822,49 kW
5.	Arus generator sinkron	1465,64 A

TABEL XIII
HASIL PERHITUNGAN UNTUK PERENCANAAN SALURAN PEMBUANGAN AKHIR

No	Perhitungan	Nilai
1.	Lebar dasar	1,80 m
2.	Lebar puncak	2,1999 m
3.	Kedalaman air	0,60 m
4.	Kemiringan penampang	0,3333
5.	Luas penampang saluran	1,1998 m ²
6.	Keliling basah saluran	3,1856 m
7.	Jari – jari hidrolis	0,3766 m

8) Gedung Pembangkit (Power House)

Kegunaan gedung pembangkit atau power house adalah untuk melindungi peralatan elektrikal dan mekanikal selain turbin dan generator, adapula trafo, kontrol panel, dan lainnya. Gedung pembangkit ini berada di elevasi 301 meter dengan titik koordinat 0° 41.86' LU/LS 124° 20.34' BT. Perancangan bentuk, ukuran, serta bahan-bahan yang akan digunakan untuk rumah pembangkit akan disesuaikan menurut bentuk pondasi turbin air dan generator ataupun keadaan geografis di lokasi. Desain dasar instalasi Bak Penenang sampai Rumah Pembangkit lihat pada Gambar 8)

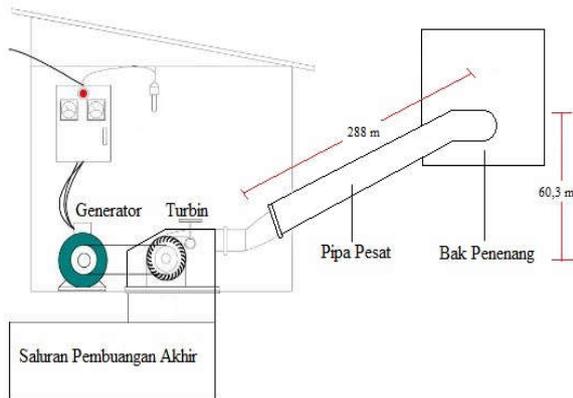
9) Saluran pembuangan akhir (Tail race)

Perhitungan yang digunakan untuk perencanaan dimensi saluran pembuangan akhir sama dengan perhitungan untuk perencanaan dimensi saluran pembawa. Hasil perhitungan untuk perencanaan Pipa Pesat lihat pada Tabel XIII.

D. Kapasitas Desain dan Produksi Energi

Hasil perhitungan untuk perencanaan Pipa Pesat lihat pada Tabel XIV. Perhitungan pembangkitan daya dan energi produksi adalah sebagai berikut:

- Head netto : $h = 60,3 \text{ m}$
- Debit air rencana : $Q = 1,7415 \text{ m}^3/\text{s}$
- Efisiensi alat : $\eta = \eta \text{ Turbin} \cdot \eta \text{ Generator} \cdot \eta \text{ Hidrolis}$
 $= 0,9 \cdot 0,8 \cdot 0,9$
 $= 0,648$
- Jumlah Jam per Tahun : $T = 24 \text{ Jam} \cdot 365 \text{ Hari}$
 $= 8760 \text{ Jam}$



Gambar 8. Desain Dasar Instalasi Bak Penenang sampai Rumah Pembangkit

Daya terbangkit

$$\begin{aligned}
 P &= \rho \cdot Q \cdot g \cdot h \cdot \eta \\
 &= 998 \cdot 1,7415 \cdot 9,81 \cdot 60,3 \cdot 0,648 \\
 &= 666.216,44 \text{ W} \\
 &= 666,21 \text{ Kw}
 \end{aligned}$$

Energi produksi tahunan

$$\begin{aligned}
 P &= \rho \cdot Q \cdot g \cdot h \cdot \eta \cdot T \\
 &= 998 \cdot 1,7415 \cdot 9,81 \cdot 60,3 \cdot 0,648 \cdot 8760 \\
 &= 5.836.056.015 \text{ W} \\
 &= 5.836.056,01 \text{ kW} \\
 &= 5.836,05 \text{ MW} \\
 &= 5,83 \text{ GWh}
 \end{aligned}$$

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa perhitungan dan perencanaan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Debit air sungai adalah 3,7062 m³/s dan debit air rencana adalah 1,7415 m³/s. Dengan tinggi jatuh efektif adalah 60,3 meter.
- 2) Hasil perhitungan bendung adalah luas penampang 6,1270 m², keliling basah penampang 12,1140 meter, jari – jari hidrolis 0,5058 meter. Dengan kecepatan air 0,6049 m/s maka kemiringan bendung adalah 0,1682.
- 3) Kebutuhan pengambilan debit air rencana untuk bangunan pengambilan adalah 2,0898 m³/s, dengan kehilangan tinggi energi pada bukaan 0,1475, dan kecepatan aliran pada bukaan 2,4782 m/s. Dimensi bangunan pengambilan adalah tinggi bukaan 0,4094 meter dan lebar bukaan 2,0599 meter.
- 4) Saluran penghantar akan memiliki kecepatan aliran 1,4515 m/s dengan luas penampang saluran 1,1998 m², keliling basah 3,1856 meter, jari – jari hidrolis 0,3766 meter, dan kemiringan saluran 0,0011.

TABEL XIV
KAPASITAS DESAIN DAN PRODUKSI ENERGI

No	Perhitungan	Nilai
1.	Efisiensi total	0,648
2.	Tegangan keluaran generator	360 V
3.	Faktor daya	0,9
4.	Keluaran daya terbangkit	666,21 kW
5.	Energi produksi tahunan	5,83 GWh

- 5) Bak penenang akan memiliki kedalaman air 2,2849 meter dengan kedalaman air diatas pipa pesat adalah 1,1980 meter dan kedalaman air dibawah pipa pesat 0,15 (menghindari pertikel – partikel akibat sedimentasi) serta diameter pipa pesat 0,9369 meter. volume tampungan bak penenang adalah 133,2553 m³ dengan luas bak penenang 58,32 m². Bak penenang akan dibuat berbentuk persegi dengan panjang saluran adalah 10,8 meter dan lebar saluran 5,40 meter.
- 6) Pipa pesat akan berdiameter 0,9369 meter, kecepatan aliran pipa pesat adalah 49,4482 m/s, luas penampang saluran 0,6890 m², panjang saluran pipa pesat 288 meter, kehilangan energi adalah sebesar 395,4423, dan gradient hidrolisnya adalah 1,0258 meter.
- 7) Turbin akan menggunakan tipe francis dengan kecepatan spesifik turbin adalah 151,09 rpm, tinggi jatuh efektif 60,3 meter, dengan besar nilai efisiensi turbin adalah 0,9, dan keluaran daya turbin adalah 927,16 kW.
- 8) Keluaran daya mekanik generator yang adalah sebesar 822,49 kW, jenis generator yang akan digunakan adalah generator sinkron yang dilengkapi dengan AVR, untuk keluaran arus generator sinkron adalah 1465,64 A. Besar nilai efisiensi generator adalah 0,8 dengan jumlah pole 4 kutub dan kecepatan putar generator 1500 rpm frekuensi 50 Hz.
- 9) Besar nilai efisiensi keseluruhan adalah 0,648 maka daya terbangkit adalah 666,21 kW, dengan kapasitas desain dan produksi tahunan adalah 5.836,05 MW atau 5,83 GWh.

B. Saran

- 1) Untuk memperbesar daya yang dihasilkan dapat digunakan beberapa unit pembangkit sehingga bisa menjadi suatu PLTA.
- 2) Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai perencanaan PLTM sungai Moayat ini dengan menggunakan metode yang lain.
- 3) Usaha pemeliharaan lingkungan dari semua pihak agar kelestarian lingkungan sekitar PLTM tetap terjaga sehingga debit yang tersedia di sungai tetap terjaga.

- 4) Keseriusan dari pihak pengembang untuk mengembangkan manfaat sungai Moayat sebagai salah satu upaya guna memenuhi kebutuhan listrik khususnya di Kota Kotamobagu.

V. KUTIPAN

- [1] Abdulsalam R, Binilang A, Halim F. *Analisis Potensi Sungai Atep Oki Serta Desain Dasar Bangunan Sipil Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air*. Program ST, Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi. Manado. 2014.
- [2] Arismunandar A, Kuwahara S. *Buku Pegangan Teknik Tegangan Tenaga listrik Jilid I: Pembangkitan dengan Tenaga Air*. PT Pradnya Paramita. Jakarta. 2000.
- [3] Dietzel, Fritz. *Turbine, Pompa, dan Kompresor*. Penerbit: Erlangga. Jakarta. 1983.
- [4] Dwiyanto V. *Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Studi Kasus: Sungai Air Anak (Hulu Sungai Way Besai)*. Program S-1, Teknik Sipil, Universitas Lampung. 2016.
- [5] Gordon, Penman. *Quick Estimating Techniques for Small Hydro Potential*. *J. of Power Dam Constr.* pp 46-55. 1979.
- [6] Haryani T, Wardoyo W, Hidayat A. *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Saluran Irigasi Mataram*. Program S-1, Teknik Sipil, ITS. Surabaya. 2015.
- [7] Hidayatullah T. *Analisis Pembangunan Pembangkit Listrik Minihidro mobuya 3x1000 kW Di Sulawesi Utara*. Program S-1, Teknik Elektro – FTI, ITS. Surabaya. 2009.
- [8] Kadir A. *Energi Sumber Daya, Inovasi, Tenaga Listrik, dan Potensi Ekonomi*. Edisi Kedua. Universitas Indonesia. 1995.
- [9] Layman's Guidebooks. *On How To Develop a Small Hydro Site*. *Journal Of Energy Saving*. Vol. 1, No. 4, pp 67-70. 1998.



Penulis bernama Hendra Elroy Mantiri, anak pertama dari keluarga Mantiri-Wonua. Lahir dari pasangan suami-istri, Fredrik Mourits Mantiri (Ayah) dan Mariana Meiske Wonua (Ibu), di Manado pada tanggal 3 April 1995. Penulis telah menempuh Pendidikan secara berturut-turut di TK GMIM LIDYA TATELU (2000-2001), SD GMIM 59 TATELU (2001-2007), SMP N 1 DIMEMBE (2007-2010), SMA FRATER DON BOSCO MANADO (2010-2013). Pada tahun 2013 penulis memulai Pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado di Jurusan Teknik Elektro, dengan mengambil konsentrasi Minat Teknik Tenaga Listrik pada tahun 2015. Dalam menempuh Pendidikan penulis juga pernah melaksanakan Kerja Praktek yang bertempat di PT. MAXI UTAMA ENERGY pada 9 Januari 2017. Penulis selesai melaksanakan Pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado, Jurusan Teknik Elektro pada bulan Juni 2018. Begitu pula selama menempuh pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado, penulis juga aktif dalam organisasi mahasiswa yaitu Himpunan Mahasiswa Elektro (HME) Fakultas Teknik Unsrat Manado.