

**Desain Pembangkit Listrik Tenaga Air Kapasitas 5 kW Di Desa Siabu
Kabupaten Kampar
Riau**

Sintong*, Amir Hamzah.**

*Teknik Elektro Universitas Riau **Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru Pekanbaru 28293
Telepon : (0761) 66595 Laman : <http://ee.ft.unri.ac.id>
E-mail : sintongntong@yahoo.com

Abstract

Power Plant Design Village Siabu water in Kampar, Riau based on the electrical energy needs of the villagers Siabu that there are not fulfilled. Design and Construction of Hydroelectric Power 5 kW capacity is located in the village of Siabu Regency, Riau Kampar by utilizing the flow of the river from the springs Siabu Bukit Barisan area. In this study, water discharge measurements using floating and height measurements falling water using water fitting. From measurements of water discharge and high falling water, is used to determine the design of hydroelectric plants that include pipe dimensions rapidly, kind of water turbines dimensional water turbine, and to determine the capacity of a synchronous generator 3 phase that corresponds to the design of hydropower generation capacity of 5 kW. The calculations show that the potential power that can be generated in Hydroelectric Power Plant in the Village this Siabu theoretically amounted to 5.432 kW to discharge water used by 0.4196 m³ / s and a height of fall of water (head nett) 3 meters. Of discharge water and high water fall is obtained rapidly design pipe with a length of 5 meters and a diameter of 0.3651 meters and turbine diameter dimensions of 30 cm by 163 cm width. From the calculation power of 5.432 kW aroused the 3 phase synchronous generator capacity that is used by 7 kVA.

Keywords: Water Discharge, The Height of The Water Fall (Head), Hydropower Capacity of 5 kW, Power Potential, Water Turbine, Generator

I. PENDAHULUAN

Pembangkit listrik tenaga air merupakan istilah yang digunakan untuk instalasi pembangkit listrik yang menggunakan energi air. Kondisi air yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber daya (resources) penghasil listrik adalah memiliki kapasitas aliran dan ketinggian tertentu dan instalasi yang mendukungnya berupa bangunan sipil. Semakin besar kapasitas aliran maupun ketinggiannya dari instalasi maka semakin besar energi yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik.

Di daerah Kabupaten Kampar berbagai desa yang cukup berpotensi dalam pengembangan sumber daya energi khususnya pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro bahkan PLTA skala kecil – menengah. Potensi ini dapat dijumpai di salah satu desa yang

berada di jajaran pegunungan Bukit Barisan yakni Desa Siabu. Sehingga PLTMH ini merupakan salah satu alternatif yang cocok dikembangkan oleh PLN dalam penyediaan listrik sehingga kebutuhan energi listrik untuk masyarakat dapat dipenuhi.

II. METODE DAN PERENCANAAN

A. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Air Skala Mikro

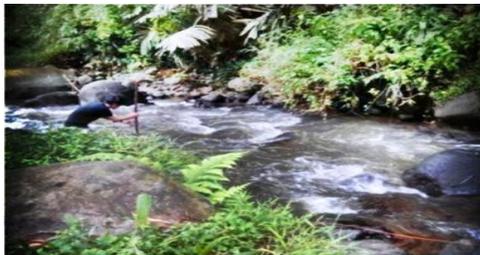
Pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggeraknya seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjun (head) dan jumlah debit air. Mikrohidro merupakan sebuah istilah yang terdiri dari kata mikro yang berarti kecil dan hidro yang berarti air. Secara teknis,

mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sebagai sumber energi), turbin dan generator.

B. Debit Air

Data debit sungai diambil dengan cara dilakukan pengukuran yang meliputi kedalaman sungai, lebar sungai dan kecepatan aliran sungai dalam beberapa titik hingga lokasi perencanaan pembangunan PLTMH.

Untuk pengambilan titik diambil 4 titik dengan panjang setiap titiknya 5m dan dilakukan selama 1 bulan pengamatan dengan penampang yang sama, setelah itu melakukan pengukuran kedalaman, lebar dan kecepatan aliran pada setiap titik yang sudah ditentukan. Untuk gambarnya bisa dilihat pada gambar 3.2 dibawah ini:



Gambar 2.1. Pengambilan Debit

C. Tinggi Jatuh Air

Perhitungan tinggi jatuh air ini dihitung dengan jarak sumber air dengan lokasi perencanaan penempatan turbin dalam pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH). Untuk rancangan kasarnya bisa dilihat dari gambar 3.3 di bawah ini:



Gambar 2.2. Pengukuran Head

D. Daya Pembangkit Listrik Skala Mikro

Besarnya daya listrik sebelum masuk ke turbin secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$P_{in\ turbin} = \rho \times g \times Q \times H \quad (II.1)$$

Sedangkan besar daya output turbin adalah sebagai berikut :

$$P_{out\ turbin} = \rho \times g \times Q \times H \times \eta_{turbin} \quad (II.2)$$

Sehingga secara matematis daya real yang dihasilkan dari pembangkit adalah sebagai berikut :

$$P_{real} = \rho \times g \times Q \times H \times \eta_{turbin} \times \eta_{generator} \quad (II.3)$$

Dimana :

Pin turbin = daya masukan ke turbin (kW)

Pout turbin = daya keluaran dari turbin (kW)

Preal = daya sebenarnya yang dihasilkan (kW)

ρ = massa jenis fluida (kg/m³)

Q = debit air (m³/s)

h = ketinggian efektif (m)

g = gaya gravitasi (m/s²)

E. Bendungan (Weir) Dan Intake

Konstruksi bangunan intake untuk mengambil air langsung dapat berupa bendungan (weir) yang melintang sepanjang lebar sungai atau langsung membagi aliran air sungai tanpa dilengkapi bangunan bendungan. Lokasi intake harus dipilih secara cermat untuk menghindari masalah di kemudian hari.

F. Saluran Pembawa (Head Race)

Saluran pembawa berfungsi untuk mengalirkan air dari intake sampai ke bak penenang. Perencanaan saluran penghantar berdasarkan pada kriteria:

- Nilai ekonomis yang tinggi
- Efisiensi fungsi
- Aman terhadap tinjauan teknis
- Mudah pengerjaannya
- Mudah pemeliharaannya
- Struktur bangunan yang memadai
- Kehilangan tinggi tekan (head losses) yang kecil

Pengukuran debit sesaat untuk kalibrasi, dilakukan di beberapa penampang melintang sungai. Dan bisa dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = V \times A \quad (II.4)$$

Kecepatan aliran pada saluran pembawa dapat diperoleh dengan persamaan Manning-Strikler sebagai berikut :

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \quad (II.5)$$

$$R = \frac{A}{P} \quad (II.6)$$

Dimana :

Q = Debit (m³/s)

V = Kecepatan rata-rata (m/s)

R = Jari-jari hidrolik (m)

A = Luas penampang basah

P = Keliling penampang basah

S = Kemiringan dasar saluran

n = Koefisien kekasaran

G. Bak Penenang

Bak penenang berfungsi untuk mengontrol perbedaan debit dalam pipa pesat dan saluran pembawa karena fluktuasi beban, disamping itu juga sebagai tempat penenang air, pengendapan akhir, dan penyaring sampah terakhir benda-benda yang masih terbawa dalam saluran air.

Kapasitas bak penenang dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_f = A_f \times h_f \quad (II.7)$$

$$V_f = B \times L \times d_f \quad (II.8)$$

Dimana :

V_f : Volume bak penenang (m³)

A : Luas bak penenang (m²)

B : Lebar bak penenang (m)

L : Panjang bak penenang (m)

h_f : Tinggi muka air pada bak penenang (m)

d_f : Selisih antara tinggi muka air normal pada debit desain

H. Pipa Pesat (*Penstock*)

Perencanaan pipa pesat mencakup pemilihan material, diameter penstock, tebal dan jenis sambungan (coordination point). Ketebalan penstock dipilih untuk menahan tekanan hidrolis dan surge pressure yang dapat terjadi.

1. Kecepatan pada pipa pesat dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan Darcy-Weisbach sebagai berikut :

$$V = \frac{Q}{A} \quad (II.9)$$

Dimana :

V : Kecepatan (m/s)

Q : Debit pembangkitan (m³/s)

A : Luas penampang pipa pesat (m²)

2. Diameter minimum pipa pesat dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$D = 2,69 \times \left(\frac{n^2 \times Q^2 \times L}{H} \right)^{0,1875} \quad (II.10)$$

Dimana :

D : Diameter pipa pesat (m)

Q : Debit pembangkit (m³/dt)

H : Tinggi jatuh (m)

L : Panjang pipa pesat

n : Koefisien manning

3. Tebal pipa pesat yang direncanakan dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\delta = d^3 \sqrt{\frac{np_0}{2E}} \quad (II.11)$$

Dimana :

d : Diameter pipa (m)

n : Faktor keamanan

n = 2 untuk pipa yang tertutup tanah

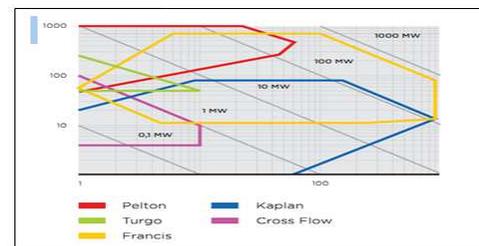
n = 4 untuk pipa di luar

p_0 : Tekanan udara = 0,1 MPa

E : Modulus elastisitas = 200 Gpa

I. Turbin Air

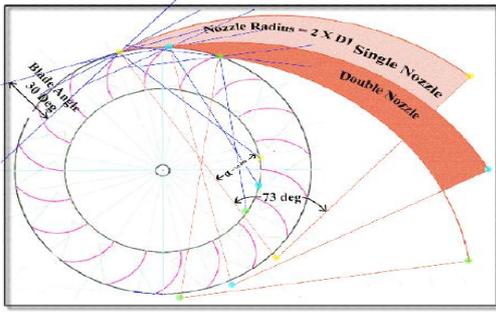
Turbin adalah mesin penggerak awal, yang mengubah energi mekanik menjadi listrik. Dimana fluida kerjanya dipergunakan langsung untuk memutar roda turbin. Secara umum hasil penelitian dilapangan mendapatkan pengembangan PLTA skala mikro dengan tinggi jatuhan (*head*) 3 m, yang dapat dikategorikan pada *head* rendah atau medium. Grafik pemilihan padagambar dibawah ini dapat membantu pemilhan turbin.



Gambar 2.3. Grafik karakteristik turbin head (m) VS flow (m³/s)

J. Dimensi Turbin Air

Turbin *cross-flow* terdiri dari dua bagian utama, nosel dan roda turbin. Roda turbin terbuat dari dua piringan lingkaran yang disatukan pada *rim* oleh sudu-sudu. Nosel yang mempunyai penampang persegi panjang, memancarkan air masuk memenuhi seluruh lebar turbin dengan sudut absolut 16⁰. Air membentur sudu (gambar 2.4), mengalir melalui sudu, dan meninggalkan sudu melalui suatu ruangan kosong antara *rim* sebelah dalam lalu masuk kembali ke *rim* di sisi yang lain kemudian akhirnya keluar. Disamping nozel, dari sisi hidrolis, bagian terpenting dari konstruksi wicket gate (sudu pengarah) adalah sudu yang dibentuk hidrolis, dibuat membentuk suatu konsul yang pada ujungnya melingkar. Bentuk geometri laluan air pada turbin dapat di lihat pada gambar 4.2. dibawah ini



Gambar 2.4. Lintasan Air melalui Turbin

1. Diameter dan Lebar Runner dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut:

$$L = 210.6 Q / D_1 H^{1/2} \quad (\text{II.12})$$

Dimana :

L : Lebar Runner
D : Diameter Runner
H : Tinggi Jatuh air

2. Putaran Turbin air :

$$N_t = \frac{826 \times H^{3/2}}{D_1} \quad (\text{II.13})$$

3. Jarak Antar Sudu

Untuk menentukan jarak antar sudu dapat diketahui menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$t = \frac{k \times D_1}{\sin \beta_1} \quad (\text{II.14})$$

Dengan :

t : Jarak antar sudu
 β_1 : Sudut sudu = $29^\circ 50'$ atau kurang lebih 30°
 S_1 : Penerima pancaran
k : koefisien kecepatan

4. Jumlah Sudu

Jumlah sudu yang tepat adalah sudu yang memiliki bentuk setipis dan semulus mungkin. Persamaan untuk memperoleh jumlah sudu adalah sebagai berikut :

$$N = \frac{\pi \times D_1}{t} \quad (\text{II.15})$$

5. Menentukan ketebalan semburan / lebar nozzle

$$S = 0,22 \frac{Q}{L \sqrt{H}} \quad (\text{II.16})$$

6. Ketebalan sudu (S_1)

$$S_1 = k \times D_1 \quad (\text{II.17})$$

7. Lebar keliling Radial

Untuk menentukan lebar keliling radial dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\alpha = 0,17 D_1 \quad (\text{II.18})$$

Dimana :

α : Lebar keliling radial
 D_1 : Diameter luar runner

8. Kelengkungan Sudu

Untuk mengetahui kelengkungan sudu dapat menggunakan rumus dibawah ini :

$$\rho = 0.326 r_1 \quad (\text{II.19})$$

Dimana :

ρ : Kelengkungan sudu runner
 r_1 : Jari-jari runner

9. Jarak Pancaran dari Pusat Poros

Untuk mengetahui jarak pancaran dari pusat poros dapat menggunakan persamaan dibawah ini :

$$y_1 = (0.1986 - 0.945 k) D_1 \quad (\text{II.20})$$

Dimana :

y_1 : Jarak pancar dari pusat poros
k : Koefisien kecepatan = 0.087
 D_1 : Diameter Luar runner

10. Jarak pancaran dari tepi dalam Runner

Untuk mengetahui jarak pancar dari tepi dalam runner dapat menggunakan persamaan dibawah ini :

$$y_2 = (0.1314 - 0.945 k) D_1 \quad (\text{II.21})$$

K. Karakteristik Turbin Air

1. Faktor Kecepatan

Faktor kecepatan diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$\varphi = \frac{D \cdot N_t}{84,6 \sqrt{H_n}} \quad (\text{II.22})$$

Dimana :

N_t : Banyaknya putaran per menit (put/mnt)
D : Diameter (m)

2. Kecepatan Satuan

Kecepatan satuan adalah kecepatan turbin (bagian yang berputar) yang geometris serupa pada $H_{\text{netto}} = 1$ meter dan $D = 1$ meter. Kecepatan satuan dapat diketahui melalui persamaan sebagai berikut :

$$N_{11} = \frac{N_t D}{\sqrt{H_n}} \quad (\text{II.23})$$

Dimana :

N_{11} : Kecepatan satuan (rad/det)
N : Banyaknya putaran per menit (put/mnt)
D : Diameter (m)
 H_n : Perbedaan tinggi muka air dikurangi kehilangan tinggi (m)

3. Debit Satuan

Debit satuan adalah debit turbin yang geometris serupa pada $H_{\text{netto}} = 1$ meter dan $D =$

1 meter. Debit satuan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{11} = \frac{Q}{D^2 \sqrt{H_n}} \quad (II.24)$$

Dimana :

Q_{11} : Debit satuan (m³/dt)

D : Diameter (m)

H_n : Perbedaan tinggi muka air dikurangi kehilangan tinggi (m)

4. Putaran Spesifik

Putaran spesifik adalah besarnya putaran turbin yang geometris serupa sehingga pada $H_{netto} = 1$ meter menghasilkan daya sebesar 1 kW. Putaran spesifik ditentukan melalui persamaan sebagai berikut:

$$N_s = \frac{NP^{0,5}}{H_n^{\frac{5}{4}}} \quad (II.25)$$

Dimana :

N_s : Putaran spesifik (put/mnt)

N : Banyaknya putaran per menit (put/mnt)

P : Daya (kW)

H_n : Perbedaan tinggi muka air dikurangi kehilangan tinggi (m)

L. Transmisi Mekanik

Transmisi daya berperan untuk menyalurkan daya dari poros turbin ke poros generator.

a. Sistem Transmisi langsung

Pada sistem transmisi ini daya dari poros turbin (rotor) langsung ditransmisikan ke poros generator dengan sebuah koping. Kontruksi sistem ini menjadilebih kompak, mudah perawatan, dan efisiensi tinggi.

b. Sistem Transmisi tidak langsung

Pada sistem ini sabuk digunakan untuk memindahkan dari 2 poros yang sejajar. Sabuk merupakan peran penting dalam menyerap beban kejut dan meredam pengaruh getaran. Sabuk yang digunakan umumnya flat belt dan V-belt. Flat belt digunakan pada sistem transmisi daya besar. Sedangkan V-belt digunakan pada PLTMH dengan daya di bawah 20 kW. Pada trasnmisi memerlukan komponen pendukung seperti pully dan bantalan.

Pada sistem transmisi puli (pulley) dan sabuk (belt) berlaku persamaan sebagai berikut :

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{r_2}{r_1} \quad (II.26)$$

Dimana :

n_1 : Kecepatan puli 1

n_2 : Kecepatan puli 2

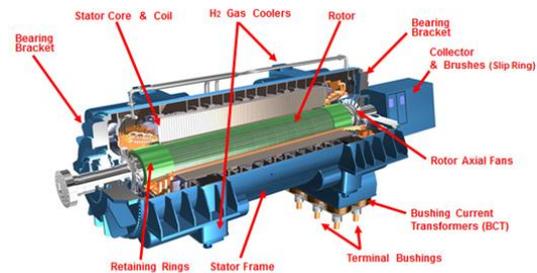
r_1 : Jari-jari puli 1

r_2 : Jari-jari puli 2

M. Generator Sinkron

Generator adalah suatu alat yang dipergunakan untuk mengkonversi mekanis dari prime mover menjadi listrik. Generator yang umum digunakan dalam sistem pembangkit adalah generator sinkron. Konstruksi generator arus bolak-balik ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu :

- Stator, yakni bagian diam yang mengeluarkan tegangan bolak-balik, dan
- Rotor, yakni bagian bergerak yang menghasilkan medan magnet yang menginduksikan ke stator.



Gambar 2.5. Generator sinkron

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gambaran Umum Desa Siabu

Desa Siabu terbentang antara 00^o 24' 36" LU sampai 01^o 13' 12" LU dan 103^o 13' 12" BT sampai 104^o 00' 36" BT dengan wilayah terdiri dari atas daratan, dengan wilayah mencapai 584 km². (RPJMD Kabupaten Kampar 2011-2016).

Batas-batas Desa Siabu yaitu:

- Utara : Kecamatan Kuok, Bukit Sengolan.
- Selatan : Kecamatan Batubelah, Bangkinang Perumnas.
- Barat : Kecamatan Bangkinang Kota.
- Timur : Kecamatan Lipat Kain, Kebun Durian.

B. Rencana Lokasi Penempatan PLTA

Skala Mikro

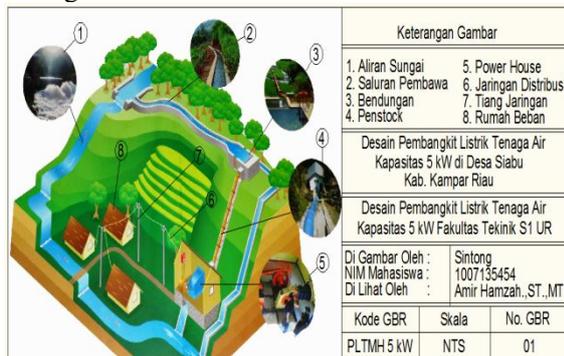
Lokasi perencanaan penempatan pembangkit listrik tenaga air kapasitas 5 kW adalah terletak di Desa Siabu Kab. Kampar, Riau, yaitu: di area sekitar Bukit Barisan.



Gambar 3.1. Lokasi Perencanaan PLTMH di Desa Siabu

C. Desain Pembangkit Listrik Tenaga Air Kapasitas 5 kW

Melihat dari topografi daerah aliran sungai, debit air, tinggi jatu air, serta kedalaman dan lebar dasar sungai yang direncanakan yaitu saat kecepatan air dan aliran yang ada dalam bendungan, maka disain pembangkit listrik tenaga pasang surut laut yang ideal untuk digunakan dilokasi adalah dengan generator dan turbin Cross-flow yang dipasang secara vertikal dihubungkan ke penstock. Pada gambar 4.2. Disain PLTMH ini juga menggunakan pipa pesat secara dinamis untuk menyesuaikan permukaan tinggi air disaat musim basah dan kering.



Gambar 3.2. Desain PLTMH Di Desa Siabu

D. Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Air Skala Mikro Di Desa Siabu

1. Potensi debit air desa siabu

Pada penelitian ini debit air di ukur secara langsung pengukuran yang dilakukan di lokasi untuk mendapatkan data-data yang dibutuhkan dalam penelitian mulai dari kedalaman sungai, lebar sungai dan kecepatan aliran sungai pada titik titik yang sudah ditentukan. Setelah melakukan penelitian maka didapat data debit air sebagai berikut ini. Untuk tabel bisa dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3.1. Pengukuran Debit Sungai Siabu Musim Kering

Hari Ke	A (m ²)	v (m/s)	Q m ³ /s
1	0,48	0,884956	0,424779
2	0,48	0,884956	0,424779
3	0,48	0,884956	0,424779
4	0,48	0,884956	0,424779
5	0,48	0,884956	0,424779
6	0,48	0,884956	0,424779
7	0,48	0,884956	0,424779
8	0,48	0,884956	0,424779
9	0,48	0,884956	0,424779
10	0,48	0,884956	0,424779
11	0,48	0,883392	0,424028
12	0,48	0,881834	0,42328
13	0,48	0,880282	0,422535
14	0,48	0,878735	0,421793
15	0,48	0,877193	0,421053
16	0,48	0,875657	0,420315
17	0,48	0,874126	0,41958
18	0,48	0,8726	0,418848
19	0,48	0,87108	0,418118
20	0,48	0,869565	0,417391
21	0,48	0,868056	0,416667
22	0,48	0,866551	0,415945
23	0,48	0,865052	0,415225
24	0,48	0,863558	0,414508
25	0,48	0,862069	0,413793
26	0,48	0,860585	0,413081
27	0,48	0,859107	0,412371
28	0,48	0,857633	0,411664
29	0,48	0,856164	0,410959
30	0,48	0,854701	0,410256

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 3.2. Pengukuran Debit Sungai Siabu Musim Basah

Hari Ke	A	v (m/s)	Q m ³ /s
1	0,65	1,06383	0,691489
2	0,65	1,06383	0,691489
3	0,65	1,06383	0,691489
4	0,65	1,06383	0,691489
5	0,65	1,06383	0,691489
6	0,65	1,06383	0,691489
7	0,65	1,06383	0,691489
8	0,65	1,06383	0,691489
9	0,65	1,06383	0,691489

10	0,65	1,06383	0,691489
11	0,65	1,059322	0,688559
12	0,65	1,054852	0,685654
13	0,65	1,05042	0,682773
14	0,65	1,046025	0,679916
15	0,65	1,041667	0,677083
16	0,65	1,037344	0,674274
17	0,65	1,033058	0,671488
18	0,65	1,028807	0,668724
19	0,65	1,02459	0,665984
20	0,65	1,020408	0,663265
21	0,65	1,01833	0,661914
22	0,65	1,01626	0,660569
23	0,65	1,014199	0,659229
24	0,65	1,012146	0,657895
25	0,65	1,010101	0,656566
26	0,65	1,008065	0,655242
27	0,65	1,006036	0,653924
28	0,65	1,004016	0,65261
29	0,65	1,002004	0,651303
30	0,65	1	0,65

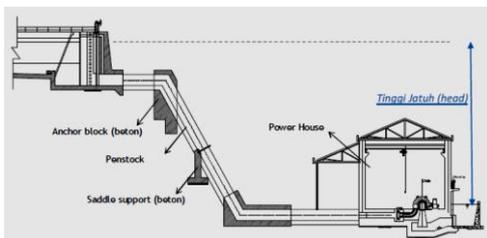
Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel di atas menunjukkan bahwa debit air rata-rata sungai sepanjang 5 m itu sebesar 0,41964 m³/s pada musim kering dan 0,6743 m³/s pada musim basah.

2. Tinggi Jatuh Air

Pada pengukuran tinggi dilapangan beda elevasi atau tinggi jatuh antara letak bendungan hingga rumah turbin adalah 2,5 meter.

Pada desain bendungan tinggi jatuh ditambah 0,5 meter, namun terjadi penurunan pada kontur saluran pembawa sebesar 7.5 cm, pada saluran pembuang pada rumah turbin sebesar 80 cm dan tinggi jagaan banjir 30 cm.



Gambar 3.3. Desain Tinggi Jatuh Air Pembangkit Listrik Tenaga Air Di Desa Siabu

3. Bangunan Pengambilan

Bangunan pengambilan terletak di sisi kanan Sungai Desa Siabu, direncanakan dengan konstruksi bangunan dari pasangan batu dilengkapi dengan 1 (satu) buah pintu baja tipe sluice gate, dan saringan atau trashrack. Berikut adalah data yang diperlukan untuk perhitungan *intake*:

- debit desain : $Q = 0,4196 \text{ m}^3/\text{dt}$
- lebar intake : 0,7 m (desain)
- tinggi ambang rencana : 0,5 m
- koefisien manning (n) : 0,017 (pasangan beton)
- slope (S) : 0,075 (desain)

Tinggi muka air pada saluran pembawa dapat diketahui sebagai berikut :

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

Dari perhitungan tinggi muka air di atas maka tinggi saluran pembawa sekitar 0.6 meter. Tinggi jagaan direncanakan dengan tinggi 0,3 m. Jadi tinggi total saluran *intake* adalah 0,6 + 0,4 ≈ 1 m. Kecepatan air pada saluran pembawa dapat diketahui sebagai berikut :

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0,419}{1 \times 0,6}$$

$$V = 0,698 \text{ m/s}$$

4. Bak Penenang (*Forebay*)

Untuk perhitungan dimensi bak penenang dibutuhkan data-data sebagai berikut (perhitungan menggunakan debit penelitian Q), Desain bak penenang pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

$$Q = 0,419 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$B = 1,2 \text{ meter}$$

$$L = 1,5 \text{ meter}$$

$$d_f = 0,7 \text{ meter}$$

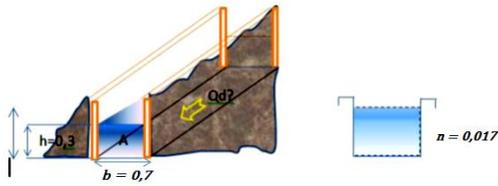
Dari desain tersebut maka tinggi dari bak penenang adalah 1 m. Kapasitas bak penenang dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_f = A_f \times h_f$$

$$V_f = B \times L \times d_f$$

$$V_f = 1,2 \times 1,5 \times 0,7$$

$$V_f = 1,26 \text{ m}^3$$



Gambar 3.4. Perencanaan saluran pembawa

5. Pipa Pesat

Desain pipa pesat pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Diameter pipa pesat

Untuk mendapatkan diameter pipa pesat dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

Dengan:

$$n = 0,009$$

$$Q = 0,419 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$L = 5 \text{ m}$$

$$H = 3 \text{ m}$$

$$D = 2,69 \times \left(\frac{n^2 \times Q^2 \times L}{H} \right)^{0,1875}$$

$$D = 2,69 \times \left(\frac{0,009^2 \times 0,419^2 \times 5}{3} \right)^{0,1875}$$

$$D = 0,3651 \text{ m}$$

2. Kecepatan air pada pipa pesat

Kecepatan air pada pipa pesat dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$V = \frac{Q}{A}$$

Dengan :

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$A = \frac{1}{4} \times 3,14 \times (0,3651)^2$$

$$A = 0,1046 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{0,419}{0,1046}$$

$$V = 4,0057 \text{ m/s}$$

3. Tebal pipa pesat yang direncanakan dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

Dengan :

$$d = 0,3651 \text{ meter}$$

$$n = 4 \text{ untuk pipa di luar}$$

$$p_0 = 0,1 \text{ MPa}$$

$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$\delta = d^3 \sqrt{\frac{np_0}{2E}}$$

$$\delta = 0,3651^3 \sqrt{\frac{4 \times 0,1}{2 \times 200}}$$

$$\delta = 0,00153 \text{ m}$$

4. Rugi-rugi pada pipa pesat

1. Akibat gesekan pada pipa

Untuk mengetahui rugi-rugi akibat gesekan pipa dapat diperoleh dengan persamaan berikut:

$$h_g = f \times \frac{L}{d} \times \frac{V^2}{2g}$$

$$f = \frac{124,5 \times n^2}{D^{\frac{1}{3}}} = \frac{124,5 \times 0,009^2}{0,3651^{\frac{1}{3}}} = 0,0141$$

Sehingga:

$$h_g = f \times \frac{L}{d} \times \frac{V^2}{2g}$$

$$= 0,0141 \times \frac{5}{0,3651}$$

$$\times \frac{4,0057^2}{2 \times 9,81}$$

$$h_f = 1,5791 \text{ m}$$

6. Desain Turbin Cross-Flow

Turbin Cross-Flow dipilih dalam rancangan ini mengingat dilokasi banyak mempunyai head yang rendah dengan kapasitas yang cukup besar, maka perancangan sebuah model turbin yang sesuai dengan kondisi tersebut adalah dengan memperhitungkan daya air (Pa), perhitungan daya teoritis turbin (Pt) perhitungan putaran spesifik (Ns), kecepatan putar (N), dan luas penampang (A).

Pada penelitian ini tinggi jatuh air yang direncanakan adalah 3 meter dengan kapasitas aliran air maksimal 0.4196 m³/s. Perancangan atau perhitungan parameter-parameter turbin *cross-flow* menggunakan persamaan-persamaan yang digunakan Mockmore.

1. Diameter Luar Turbin (D1) dan Lebar Sudu Turbin

$$L \times D = \frac{2,627 \times Q}{\sqrt{H}}$$

$$L \times D = \frac{2,627 \times 0,4196}{\sqrt{3}}$$

$$L \times D = 0,6371 \text{ cm}$$

Tabel 4.5. Perbandingan diameter dan lebar sudu turbin

No	Diameter Luar (m)	Lebar Sudu Turbin (m)
1	0,3	0,08
2	0,25	0,08
3	0,2	0,11
4	0,15	0,14

Desain lebar sudu dan diameter turbin pada perancangan penelitian ini dipilih:

$$\begin{aligned} \text{lebar sudu turbin (L)} &= 0.08 \text{ m} = 8 \text{ cm} \\ \text{diameter turbin luar (D}_1\text{)} &= 0.3 \text{ m} = 30 \text{ cm} \\ \text{diameter turbin dalam (D}_2\text{)} &= \frac{2}{3} D_1 \\ &= \frac{2}{3} (30) = 20 \end{aligned}$$

2. Dimensi Turbin

Diameter dan Lebar *Runner*

Diameter dan Lebar runner diketahui dengan substitusi persamaan (II.18) dengan (II.19), sehingga persamaannya menjadi sebagai berikut :

$$D_1 L = \frac{144Q}{Ck(2gH)^{\frac{1}{2}}}$$

Dengan :

$$Q = 0,4196 \text{ m}^3/\text{s} = 14,8180 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$H = 3 \text{ m} = 9,8425 \text{ ft}$$

$$C = 0,98 \text{ dan } k = 0,087 \text{ maka}$$

$$g = 32,185 \text{ ft/s}^2$$

$$D_1 L = \frac{144 \times 14,7968}{0,98 \times 0,087 (2 \times 9,81 \times 9,8425)^{\frac{1}{2}}}$$

$$D_1 L = \frac{2130,739}{1,1848} \text{ cm}$$

$$D_1 L = 1798,395 \text{ cm}$$

Untuk mencari lebar turbin dapat menggunakan persamaan berikut:

$$L = \frac{2130,739}{D_1}$$

Tabel 4.6. Perbandingan diameter dan lebar turbin

D_1 (cm)	D_1 (inci)	L_1 (inci)	L_1 (cm)
20	7,87	96,652	245,496
25	9,84	77,321	196,397
30	11,81	64,434	163,664
35	13,15	55,229	140,283
40	15,74	48,326	122,748
45	17,71	42,956	109,109
50	19,68	38,660	98,198

Dari tabel di atas maka dipilih $L = 163.664 \text{ cm} \approx 163 \text{ cm}$ dan $D = 30 \text{ cm}$.

3. Putaran Turbin air

Berdasarkan dari hasil pemilihan diameter dan lebar turbin di atas, maka putaran turbin bisa dicari dengan persamaan sebagai berikut :

$$N_t = \frac{826 \times H^{\frac{1}{2}}}{D_1}$$

$$N_t = \frac{826 \times 9,8425^{\frac{1}{2}}}{11,81} = N_t = 220 \text{ rpm}$$

4. Jarak Antar Sudu

Untuk menentukan jarak antar sudu dapat diketahui menggunakan persamaan sebagai berikut :

Dengan $k = 0.087$, $\beta_1 = 30^\circ$, dan $D_1 = 11.81$ inci

$$\begin{aligned} t &= \frac{k \times D_1}{\sin \beta_1} \\ t &= \frac{0,087 \times 11,81}{\sin 30^\circ} = 2,0529 \text{ inci} \\ t &= 5,2143 \text{ cm} \end{aligned}$$

5. Jumlah Sudu

Jumlah sudu yang tepat adalah sudu yang memiliki bentuk setipis dan semulus mungkin. Persamaan untuk memperoleh jumlah sudu adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} N &= \frac{\pi \times D_1}{t} \\ N &= \frac{3,14 \times 11,81}{2,0529} \\ N &= 18 \text{ buah} \end{aligned}$$

6. Menentukan ketebalan semburan / lebar *nozzel*

$$\begin{aligned} S &= 0,22 \frac{Q}{L\sqrt{H}} \\ S &= 0,22 \frac{14,8180}{180,418 \times \sqrt{3}} \\ S &= 0,22 \times \frac{14,8180}{312,493} \\ S &= 1,0432 \text{ cm} \end{aligned}$$

7. Ketebalan sudu (S_1)

$$\begin{aligned} S_1 &= k \times D_1 \\ S_1 &= 0,087 \times 0,3 \\ S_1 &= 0,0261 \text{ m} = 2,61 \text{ cm} \end{aligned}$$

8. Lebar keliling Radial

Untuk menentukan lebar keliling radial dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \alpha &= 0,17D_1 \\ \alpha &= 0,17(11,81) \\ \alpha &= 2,0077 \text{ inci} = 5,099 \text{ cm} \end{aligned}$$

9. Diameter dalam

Setelah mengetahui lebar keliling radial maka diameter dalam dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} D_i &= D_o - (2\alpha) \\ D_i &= 11,81 - (2(5,099)) \end{aligned}$$

$$D_i = 1,612 \text{ inci} = 4,094 \text{ cm}$$

10. Kelengkungan Sudu

Kelengkungan sudu *runner* diperhitungkan dari r_1 yaitu:

$$\rho = 0.326 \cdot r_1$$

$$\text{dimana ; } r_1 = \frac{1}{2} D_0$$

$$\text{jadi ; } r_1 = \frac{1}{2} (11,81) \\ = 5,905 \text{ inci}$$

Jadi, jarak kelengkungan bilah *runner*, untuk mengetahui kelengkungan sudu dapat menggunakan rumus dibawah ini :

$$\rho = 0.326 r_1$$

$$\rho = 0.326 (5,905)$$

$$\rho = 1,925 \text{ inci} = 4,889 \text{ cm}$$

11. Jarak Pancaran dari Pusat Poros

Untuk mengetahui jarak pancaran dari pusat poros dapat menggunakan persamaan dibawah ini :

$$\text{Dengan } k = 0.087 \text{ dan } D_1 = 11.81 \text{ inci}$$

$$y_1 = (0.1986 - 0.945 k) D_1$$

$$y_1 = (0.1986 - 0.945 \times 0,087) 11,81$$

$$y_1 = 1,374 \text{ inci} = 3,489 \text{ cm}$$

12. Jarak pancaran dari tepi dalam Runner

Untuk mengetahui jarak pancar dari tepi dalam *runner* dapat menggunakan persamaan dibawah ini :

$$\text{Dengan } k = 0.087 \text{ dan } D_1 = 11.81 \text{ inci}$$

$$y_2 = (0.1314 - 0.945 k) D_1$$

$$y_2 = (0.1314 - 0.945 \times 0,087) 11,81$$

$$y_2 = 0,5809 \text{ inci} = 1,475 \text{ cm}$$

7. Karakteristik Turbin Air

1. Faktor Kecepatan

Faktor kecepatan diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$\varphi = \frac{D \cdot N_t}{84,6 \sqrt{H_n}}$$

$$\varphi = \frac{0,3 \times 220}{84,6 \sqrt{3}}$$

$$\varphi = 0,4515$$

2. Kecepatan Satuan

Kecepatan satuan adalah kecepatan turbin (bagian yang berputar) yang geometris serupa pada $H_{\text{netto}} = 1$ meter dan $D = 1$ meter. Kecepatan satuan dapat diketahui melalui persamaan sebagai berikut :

$$N_{11} = \frac{N_t D}{\sqrt{H_n}}$$

$$N_{11} = \frac{220 \times 0,3}{\sqrt{3}}$$

$$N_{11} = 38,150 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

3. Debit Satuan

Debit satuan adalah debit turbin yang geometris serupa pada $H_{\text{netto}} = 1$ meter dan $D = 1$ meter. Debit satuan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{11} = \frac{Q}{D^2 \sqrt{H_n}}$$

$$Q_{11} = \frac{0,4196}{0,3^2 \sqrt{0,3}}$$

$$Q_{11} = 2,6949 \text{ m}^3/\text{s}$$

4. Putaran Spesifik

Putaran spesifik adalah besarnya putaran turbin yang geometris serupa sehingga pada $H_{\text{netto}} = 1$ meter menghasilkan daya sebesar 1 kW. Putaran spesifik ditentukan melalui persamaan sebagai berikut:

$$N_s = \frac{NP^{0,5}}{H_n^{\frac{5}{4}}}$$

$$N_s = \frac{220 \times 5,432^{0,5}}{3^{\frac{5}{4}}}$$

$$N_s = 129,874 \text{ rad/s}$$

8. Transmisi Mekanik

Pada penelitian ini desain transmisi mekanik menggunakan sistem transmisi tidak langsung karena daya yang dihasilkan dibawah 20 kW, yaitu 5,432 kW.

Pada sistem transmisi ini menggunakan V-belt dengan komponen pendukung lainnya seperti *pulley* dan juga bantalan.

Dengan sistem transmisi puli dan sabuk seperti pada gambar 2.9, maka kecepatan putar turbin generator dapat diatur pada nilai tertentu berdasarkan kecepatan putar turbin sesuai dengan perbandingan yang diinginkan. Nilai perbandingan tersebut bisa didapatkan dengan persamaan :

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{r_1}{r_2}$$

Dimana: Putaran Turbin Air $n_1 = 220$ (rpm)

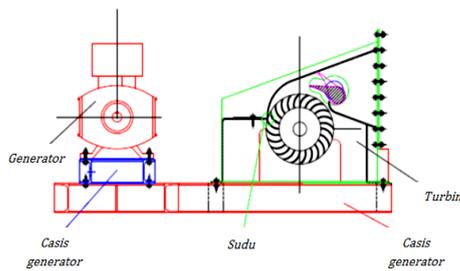
Putaran Generator $n_2 = 1500$ (rpm)

Jari –jari Puli Turbin Air $r_1 = 0.6$ (m)

Jari –jari Puli Generator r_2

$$\frac{220}{1500} = \frac{r_2}{0,6}$$

Sehingga $r_2 = 0,088 \text{ m}$



Gambar 3.5. Rencana desain mekanikal mikrohidro desa siabu

9. Perhitungan Daya

Pada penelitian ini tinggi jatuh air adalah 3 meter. Persamaan untuk mencari daya listrik teoritis yang dibangkitkan karena perbedaan tinggi adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P &= 9,81 \cdot Q \cdot H \\ &= 9,81 \times 0,4196 \times 3 \\ &= 12,331 \text{ kW} \end{aligned}$$

Apabila diasumsikan :

- Efisiensi pipa pesat $\eta_p = 0,9$
- Efisiensi turbin $\eta_t = 0,7$
- Efisiensi generator $\eta_g = 0,8$

Maka daya listrik yang dibangkitkan dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned} P &= 9,81 \cdot Q \cdot H \cdot \eta_p \cdot \eta_t \cdot \eta_g \\ &= 9,81 \times 0,4196 \times 3 \times 0,9 \times 0,7 \times 0,7 \\ &= 5,432 \text{ kW} \end{aligned}$$

10. Pemilihan Generator

Pada penelitian ini besar daya terbangkitkan sekitar 5,432 kW. Mengacu pada buku pedoman Studi Kelayakan Mekanikal-Elektrikal, dengan memperhatikan rugi-rugi generator serta untuk menjamin kinerja generator maka diperlukan faktor keamanan minimal 25% dari daya terbangkitkan. Maka kapasitas generator yang dipilih adalah 7 kVA.

Sistem kontrol yang direncanakan menggunakan Electronic Load Controller (ELC) yang menyatu dengan kontrol panel dan sebagai penyeimbang beban digunakan ballast load air heater dengan kapasitas 60% dari daya generator yaitu sebesar 5 kW.

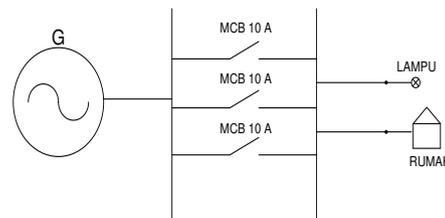
11. Jumlah rumah yang dapat dilayani

Berdasarkan ketersediaan daya yang dibangkitkan melalui PLTMH Wamena ini maka dapat dihitung berapa rumah yang akan menerima suplai daya listrik baru, dengan

estimasi jumlah kebutuhan minimum listrik per rumah diwilayah pedesaan sebesar 1500 watt, maka perhitungan jumlah rumah yang akan menerima suplai daya listrik baru adalah sebagai berikut:

Jumlah Rumah = (Daya Hasil Pembangkitan / Kebutuhan Minimum Listrik)

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Rumah} &= 5000 \text{ W} / 1500 \text{ W} \\ &= 3 \text{ Rumah} \end{aligned}$$



Gambar 3.6. Sistem Pembangkit ke Beban

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari pembahasan pada penelitian ini maka dapat disimpulkan :

1. Berdasarkan hasil pengukuran langsung di sungai desa siabu diperoleh debit rata – rata 0,4196 m³/s, untuk bulan maret pada musim kering dan debit rata-rata pada bulan september dimusim basah yaitu 1,883681 m³/s dan head efektif dengan pengukuran langsung adalah 3 m.

Dari debit dan head pada penelitian ini, maka daya generator yang dapat dibangkitkan oleh Pembangkit listrik tenaga air desa siabu adalah 5,432 kW.

2. Komponen sipil yang direncanakan terdiri dari:

- a. Bangunan saluran pembawa pengambilan air dari sungai (intake) dengan panjang 15 m, lebar 0,7 m dan tinggi 1 m.
- b. Bak penenang dengan panjang 1,5 m, lebar 1,2 m, dan tinggi 0,7 m dan tinggi jagaan 0,3 m.
- c. Pipa pesat pipa bahan PVC dengan diameter 0,3651 m dan panjang 5 m.

3. Komponen mekanikal elektrik yang direncanakan terdiri dari :

- a. Berdasarkan *head* dan debit, turbin yang digunakan pada penelitian ini adalah turbin *cross flow*.
- b. Diameter turbin sebesar 30 cm dan lebarnya 163 cm.
- c. Desain *runner* pada penelitian ini yaitu jarak antar sudu = 5,2143 cm, jumlah sudu = 18

- buah, lebar *nozzel* = 1,0432 cm, ketebalan sudu = 2,61 cm, lebar keliling radial = 5,099 cm, kelengkungan sudu = 4,889 cm, jarak pancaran dari pusat poros = 3.489, jarak pancaran dari tepi *runner* = 1.475 cm.
- d. Sistem transmisi mekanik menggunakan pulley dan V-belt.
 - e. Kapasitas generator sinkron 3 fasa yang digunakan adalah 7 kVA.
 - f. Sistem kontrol beban yang digunakan adalah *Electronic Load Controller* (ELC) dengan kapasitas beban *ballast* sebesar 5 kW.

B. Saran

Selanjutnya untuk perbaikan dan pengembangan penelitian ini, disarankan beberapa hal yaitu:

1. Mengingat Energi air dan potensial yang tersedia di sungai tersebut cukup besar, hal yang memungkinkan untuk dibangun lebih dari satu pembangkit dengan kapasitas yang sama.
2. Pintu air pada bendungan ini manual sehingga untuk mengatur laju air pada bak penampung perlu dipasang pintu air yang lebih mudah dikendalikan. Bukan hanya berdasarkan teknis namun berdasarkan faktor ekonomis. Pada PLTPH ini, head yang tercapai 3 meter.
3. Untuk meningkatkan daya keluaran listrik maka disarankan head tersebut mesti memenuhi ketentuan dari buku panduan yaitu 3 meter. Caranya adalah dengan merubah konstruksi sipil bak penampung, tanpa mengganggu laju air pada pipa saluran dari bendungan.
- 4.

DAFTAR PUSTAKA

1. Celso Penche, Dr. Ingeniero de Minas. *Layman's Guidebook On How To Develop A Small Hydro Site. European Small Hydro. Power Association. Belgia: Juni 1998.*
2. Haimerl, L.A., Meier, Ueli, P. Hettiararchi dan A. Inversin. *Micro Hydro Design Manual: Guide to Small Scale Water Power Schemes. Intermediate Tech. Publications. London: 1998.*
3. (Keller, 1975). *Micro Hydro Power Resource Assessment Handbook. Asian and Pacific Centre for Transfer Of Technology of the United Station (APCTT)-Economic and Sosial Commission for Asia and the Pacific (ESCAP).*

4. Patty, O.F., 1995. *Tenaga Air.* Erlangga. Jakarta.
5. Arismunandar, Artono. 1991. *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik I, PT. Pradnya Paramita.* Jakarta
6. Celso Penche, 1998, *LAYMAN'S HANDBOOK, "ON HOW TO DEVELOP A SMALL HYDRO SITE"*. Second Edition, European Small Hydropower Association (ESHA).
7. Dikutip dari buku *Hydroelectric Handbook*, William P. Creager and Joel D. Justin, *Second Edition*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1950, hal. 832.
8. Dikutip dari buku *Hydro Power engineering, A Textbook for Civil Engineer*, James J. Doland, D.Sc., *The Ronald Press company*, New York, 1984, hal.77
9. Dikutip dari buku *Hydroelectric Handbook*, William P. Creager and Joel D. Justin, *Second Edition*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1950, hal. 826.
- 12 Wibowo, Nan Ady. 2013. *Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Wamena di kabupaten Jayawijaya Provinsi Papua.* Malang: Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- 13 Zuhul. 1991. *Dasar Teknik Tenaga Listrik.* Bandung: ITB.
- 14 Dikutip dari data peta dari kantor Desa Siabu, Kecamatan Salo, Kampar Riau
- 15 Ramdhani, A.S.D. 2008. *Studi Perencanaan PLTMH 1x12 kW sebagai Desa Mandiri Energi di Desa Karangsewu, Cisewu, Garut, Jawa Barat.* Surabaya: Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh November.
- 16 Susatyo, Anjar. 2003. *Pengembangan Turbin Air Type Cross-flow Diameter Runner 400 mm.* Bandung : Pusat Penelitian Tenaga Listrik Dan Mekatronik Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
- 17 Pratilastiarso, Joke dan Fifi Hesty Sholihah. 2012. *Evaluasi Teoritis Unjuk Kerja Turbin Cross-flow.* Surabaya: Program Studi Sistem Pembangkitan Energi Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
- 18 Rizal Firmasnsyah, Teguh Utomo, Hery Purnomo. 2011. *Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Gunung Sawur unit 3 Lumajang.* Malang: Teknik Elektro Universitas Brawijaya