

PERENCANAAN PIPA PESAT (*PENSTOCK*) UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (*PLTMH*) DI SUNGAI JAIFURI KABUPATEN KEEROM

Suyatno¹⁾ Suminto Yikwa²⁾

¹⁾Staf Pengajar Program Studi Teknik Mesin

²⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri dan Kebumihan Universitas Sains dan Teknologi Jayapura

Email : suyatnoarief@yahoo.com

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar daya yang dapat dihasilkan dari perencanaan pipa pesat (penstock) pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di Kampung Jaifuri (Arso 3).

Proses penelitian dilakukan dengan cara mengambil data debit aliran pada saluran pembawa, kecepatan aliran pada saluran pembawa, debit aliran pada pipa pesat, kecepatan aliran pada pipa pesat, tinggi jatuh air, lebar penampang, dan panjang pipa pesat (penstock) di sungai Jaifuri.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa diameter pipa pesat 0,621 m, tebal 0,000239 m, dan panjang 41,470 m, kehilangan tenaga dalam pipa pesat 5,531 m, serta potensi daya yang dihasilkan dari perencanaan pipa pesat (penstock) 560,763 kW.

Kata Kunci : Debit aliran, tinggi jatuh air, kecepatan aliran, pipa pesat.

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan pembangkit listrik di Papua meningkat seiring dengan bertambahnya permintaan energi listrik. Saat ini persediaan pembangkit listrik sebagian besar masih menggunakan bahan bakar fosil yang tidak dapat di perbaharui dan tidak ramah lingkungan. Padahal potensi sumber energi terbarukan (*renewable energy*) yang tersedia di Papua sangat melimpah namun hingga kini belum tergarap secara optimal.

Salah satu sumber energi terbarukan (*renewable*) adalah pembangkit listrik yang menggunakan energi air, kondisi air yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber daya (*resurrect*) pembangkit listrik adalah memiliki kapasitas aliran dan ketinggian tertentu dari instalasi. Semakin besar kapasitas aliran maupun ketinggiannya dari instalasi maka semakin besar energi yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik.

Penerapan teknologi pengolahan Mikrohidro menjadi sumber energi terbarukan (*renewable energy*) membutuhkan perencanaan yang matang. Perlu dilakukan kajian untuk menentukan layak atau tidaknya digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga Mikrohidro berdasarkan potensi aliran sungai yang tersedia.

Sungai Itauwily (Jaifuri) merupakan satu-satunya buangan air dari danau Sentani, ketersediaan air selalu kontinyu dan kondisi airnya jernih atau sedimen kecil yang memiliki kontur berbelok-belok dan mempunyai variasi ketinggian jadi sumber daya air ini sangat berpotensi untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).

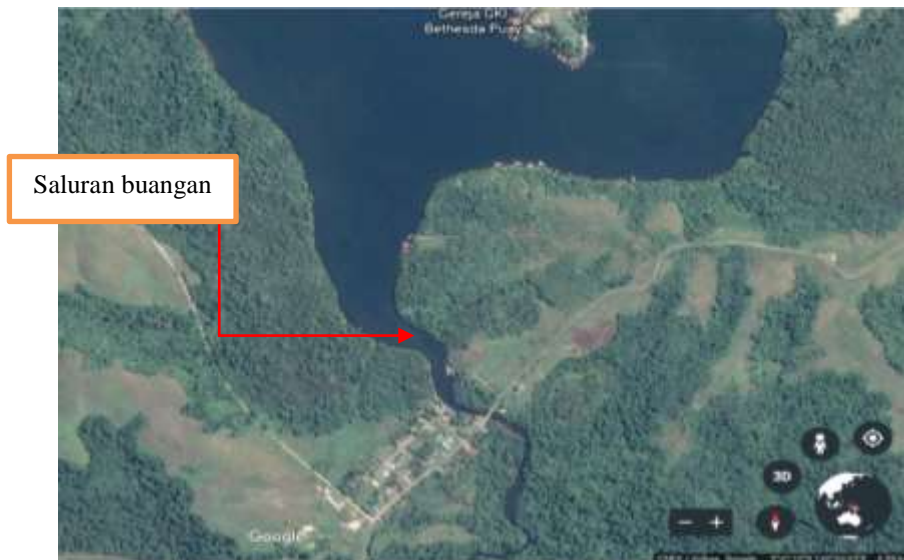
Bentuk sungai yang berbelok-belok dan mempunyai elevasi ketinggian itu mempunyai potensi untuk dimanfaatkan sebagai energi untuk menggerakkan turbin, dengan cara menyodet saluran untuk dipasang pipa pesat (*Penstock*).

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung debit aliran, saluran pembawa, diameter dan tebal pipa (*penstock*), kehilangan tenaga dalam pipa pesat serta daya listrik yang dihasilkan.

Sungai adalah aliran air yang besar dan memanjang yang mengalir secara terus-menerus dari hulu (sumber) menuju hilir (muara). Kemanfaatan terbesar sebuah sungai adalah untuk irigasi pertanian, bahan baku air minum, sebagai saluran pembuangan air hujan dan air limbah, bahkan potensial untuk dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga air.



Gambar 1. Danau Sentani

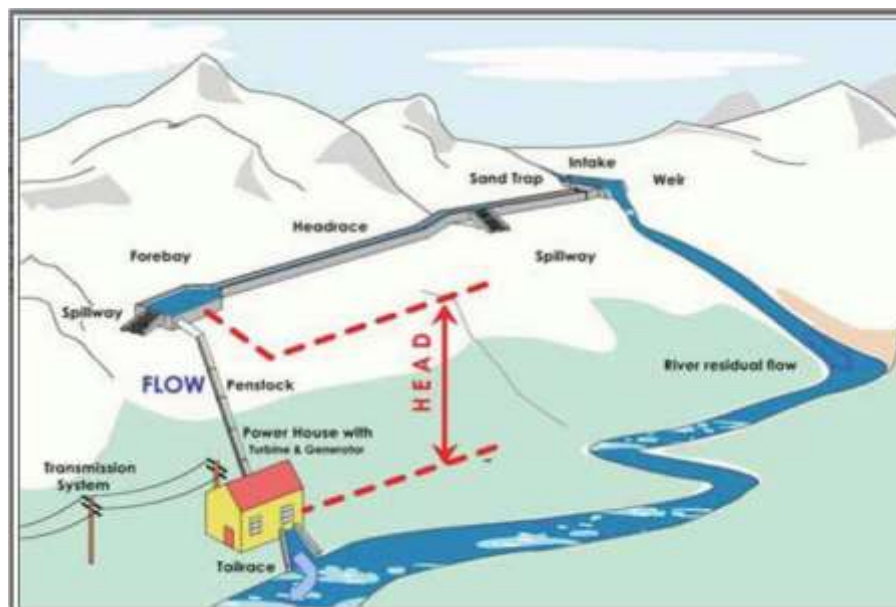


Gambar 2. Saluran buangan dari Danau Sentani

Siklus hidrologi adalah sirkulasi air yang tidak pernah berhenti dari atmosfer ke bumi dan kembali ke atmosfer melalui kondensasi, presipitasi, evaporasi dan transpirasi. Matahari sebagai sumber energi terbesar di alam semesta memberikan pengaruh paling besar dalam proses siklus

hidrologi. Siklus hidrologi berawal dari penguapan air laut, sungai, danau dan sebagainya, namun yang terbesar adalah air laut. Penguapan air laut memungkinkan terjadinya siklus hidrologi yang berlangsung terus menerus. Air berevaporasi, selanjutnya jatuh ke bumi sebagai presipitasi dalam berbagai bentuk seperti hujan, hujan es, salju, gerimis, bahkan kabut sekalipun.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik berskala kecil, yang memanfaatkan tenaga (aliran) air sebagai sumber penghasil energi. PLTMH termasuk sumber energi terbarukan dan layak disebut *clean energy* karena ramah lingkungan. Tenaga air berasal dari aliran sungai kecil atau danau yang dibendung dan kemudian dari ketinggian tertentu dan memiliki debit yang sesuai akan menggerakkan turbin yang dihubungkan dengan generator listrik. Semakin tinggi jatuhnya air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Pembangkit tenaga air merupakan suatu bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin air dan generator.



Gambar 3. Sistem Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Pembangkit listrik tenaga air skala mikro pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan generator menghasilkan listrik. Sebuah skema mikrohidro memerlukan dua hal yaitu, debit air dan ketinggian jatuh (*head*) untuk menghasilkan tenaga yang dapat dimanfaatkan. Hal ini adalah sebuah sistem konversi energi dari bentuk ketinggian dan aliran (energi potensial) kedalam bentuk energi mekanik dan energi listrik (Donald, 1994).

Komponen PLTMH secara umum terdiri dari bendungan (*dam*), saringan (*sand trap*), pintu pengambilan air (*Intake*), bak pengambilan air (*Intake*), pipa pesat (*Penstock*), katub utama (*Main valve atau inlet valve*) dan rumah pembangkit (*Power House*).

Faktor yang menentukan dalam pemilihan lokasi PLTMH adalah debit aliran, tinggi jatuh air, kondisi geologis dan keadaan air, Faktor sosial dan ekonomis.

A. Debit Air

Debit air adalah jumlah air yang mengalir melalui suatu penampang sungai tertentu per satuan waktu dengan persamaan berikut :

$$Q = A \cdot V$$

dengan :

Q = Debit aliran (m³/s)

A = Luas penampang (m²)

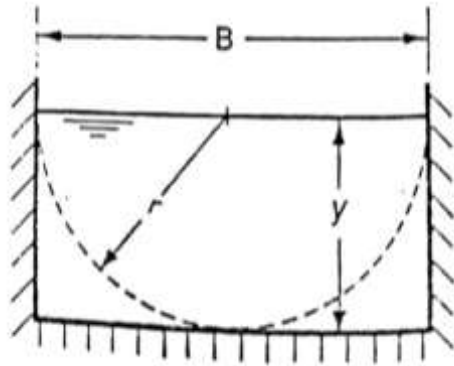
V = Kecepatan aliran (m/s)

B. Bendungan dan Intake

Bendungan adalah bangunan yang berfungsi untuk membelokkan arah aliran air. Kontruksi bendungan bertujuan untuk menaikkan dan mengontrol tinggi air dalam sungai secara signifikan sehingga elevasi muka air cukup untuk dialihkan ke dalam *intake*. Kontruksi *intake* bertujuan untuk mengalirkan air dari bendungan ke saluran pembawa, bak penenang dan pipa pesat. Umumnya, kontruksi *intake* dibuat pintu air untuk melakukan pembilasan sedimen.

C. Saluran Pembawa

Bangunan saluran pembawa air (*headrace channel*) adalah untuk mengalirkan air dari intake/settling basin ke bak penenang (*Forebay*) dan untuk mempertahankan kestabilan debit air. Jenis saluran ini adalah saluran terbuka yang berbentuk segi empat.



Gambar 4. Saluran ekonomis bentuk segi empat

Luas tampang basah : $A = B \cdot y$

Keliling basah : $P = B + 2y$

$$P = \frac{A}{y} + 2y$$

Jari-jari hidraulis : $R = \frac{A}{P} = \frac{B \cdot y}{B + 2y}$

Kecepatan aliran pada saluran pembawa dapat diperoleh dengan persamaan berikut :

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

dengan :

V = Kecepatan aliran (m/s)

R = Jari-jari hidraulis (m)

S = Kemiringan dasar saluran

n = Koefisien kekasaran

D. 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 berikut :

$$V_f = A_f \times h_f$$

$$V = B \times L \times d_f$$

dengan :

$$V_f = \text{Volume bak penenang (m}^3\text{)}$$

$$A = \text{Luas bak penenang (m}^2\text{)}$$

$$B = \text{Lebar bak penenang (m)}$$

$$L = \text{Panjang bak penenang (m)}$$

$$h_f = \text{Tinggi muka air pada bak penenang (m)}$$

$$d_f = \text{Selisih antara tinggi muka air normal pada debit desain}$$

E. Pipa Pesat

Pipa pesat (*penstock*) adalah pipa tekan yang menyalurkan aliran untuk menggerakkan turbin PLTMH.

Diameter minimum pipa pesat dapat diperoleh dengan persamaan :

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

dengan :

$$D = \text{Diameter pipa (m)}$$

$$Q = \text{Debit aliran (m}^3\text{/s)}$$

$$H = \text{Tinggi jatuh (m)}$$

$$L = \text{Panjang pipa (m)}$$

$$n = \text{Koefisien kekasaran}$$

Tebal pipa pesat yang direncanakan dapat diperoleh dengan persamaan :

$$\delta = D^3 \sqrt{\frac{n P_0}{2E}}$$

dengan :

$$D = \text{Diameter pipa (m)}$$

$$N = \text{Faktor keamanan}$$

$$n = 2 \text{ untuk pipa yang tertutup tanah}$$

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

$$P_0 = \text{Tekanan udara} = 0,1 \text{ MPa}$$

$$E = \text{Modulus elastisitas} = 200000 \text{ MPa}$$

Kecepatan aliran pada pipa pesat dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$V = \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

dengan :

$$V = \text{Kecepatan aliran (m/s)}$$

$$g = \text{Percepatan gravitasi bumi (m}^2\text{/s)}$$

$$H = \text{Tinggi jatuh (m)}$$

Tinggi jatuh tergantung kepada geografi lokasi. Pada dasarnya pembangkit mikrohidro digolongkan dalam dua kategori yang menentukan jenis turbin yang akan dipakai yaitu tinggi jatuh rendah (sampai 20 meter) dan tinggi (lebih dari 20 meter).



$$H_{ef} = H_s - h_f$$

dengan :

H_{ef} = Tinggi jatuh efektif (m)

H_s = Tinggi jatuh statis (m)

h_f = Kehilangan tenaga (m)

Kehilangan tenaga aliran melalui pipa akibat gesekan dalam pipa (h_f) dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

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

dengan :

h_f = Kehilangan tenaga (m)

f = Koefisien gesekan

L = Panjang pipa(m)

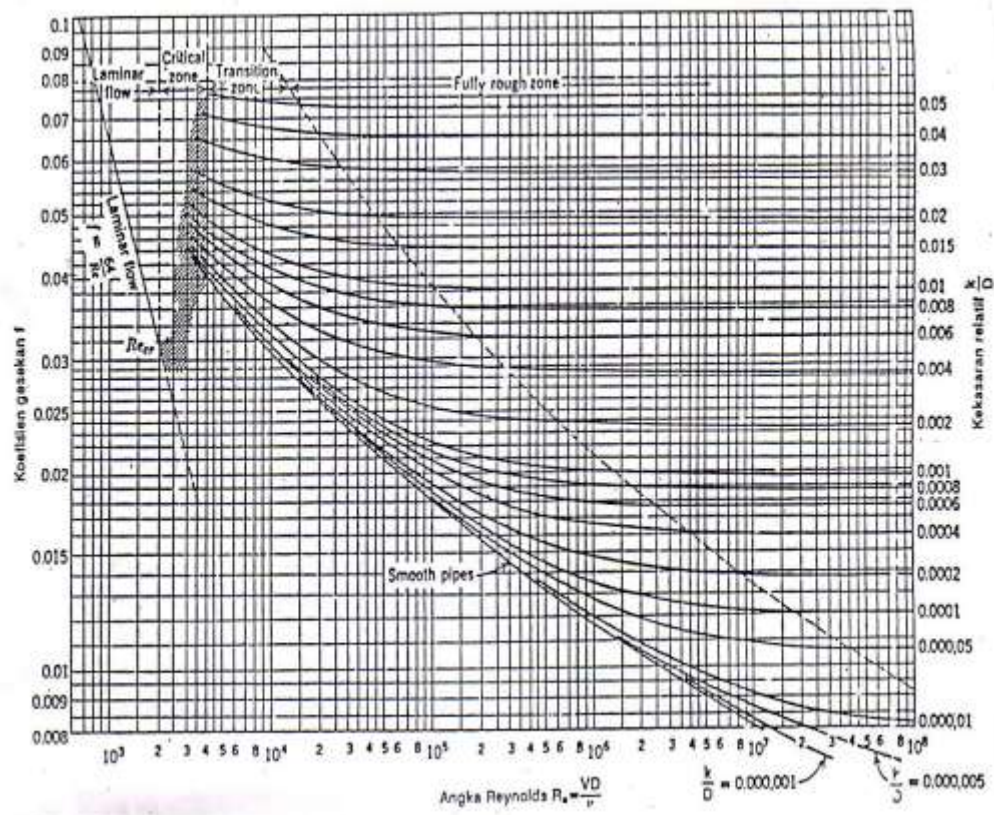
V = Kecepatan aliran (m/s)

D = Diameter pipa (m)

G = Percepatan gravitasi bumi (m/s^2)

Angka Reynolds mempunyai bentuk berikut ini :

$$Re = \frac{V}{\frac{\mu}{\rho D}} = \frac{\rho D V}{\mu}, \text{ atau } Re = \frac{V D}{\nu}$$



Gambar 5. Grafik Moody

Daya (*power*) yang dihasilkan oleh pembangkit dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$P = Q \times \rho \times g \times H$$

dengan :

P = Daya (watt)

Q = Debit aliran (m³/s)

ρ = Massa jenis air (kg/m³)

g = Percepatan gravitasi bumi (m/s²)

H = Tinggi jatuh (m)

2. METODE PENELITIAN

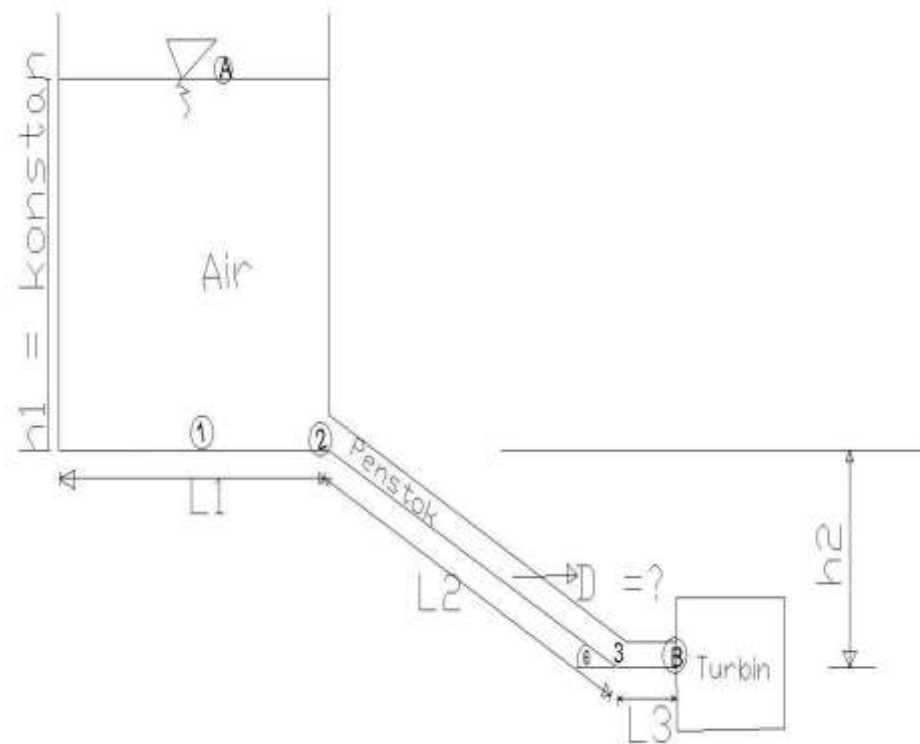
Perencanaan pipa pesat dan perhitungan daya keluaran turbin ini didasarkan atas keinginan untuk mengetahui bagaimana sistem perpipaan pipa pesat yang baik dan benar pada sebuah pembangkit listrik tenaga air. Selain itu, besarnya head efektif, daya keluaran dari head dan debit yang tersedia.



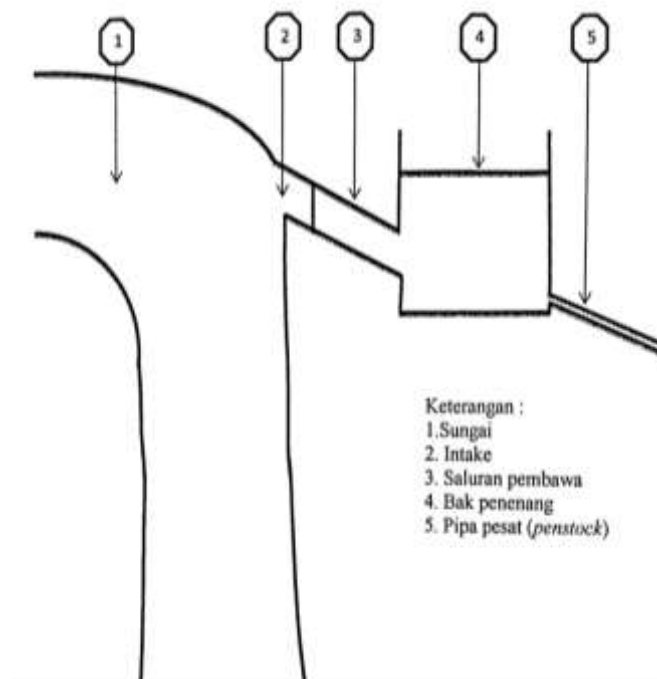
Gambar 6. Kampung Jaifuri(Arso 3) Kabupaten Keerom



Gambar 6. Lokasi Perencanaan PLTMH di Jaifuri Arso 3



Gambar 7. Rencana pipa pesat (*penstock*)



Gambar 8. Rencana PLTMH Jaifuri (Arso 3)

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bangunan pengambilan terletak di sisi kiri Sungai Jaifuri (Arso 3), direncanakan dengan konstruksi bangunan dari pasangan batu dilengkapi dengan saringan atau trashrack. Berikut adalah data yang diperlukan untuk perhitungan *intake*:

1. Lebar intake :1m
2. Tinggi intake :1,5 m
3. Koefisien manning (n) : 0,025 (Pasangan batu disemen)
4. Slope (S) : 0,001

Perencanaan Saluran Pembawa Bentuk Segi Empat :

Luas tampang basah

$$A = B \cdot y = 1 \times 1,5 \quad A = 1,5 \text{ m}^2$$

Keliling basah $P = B + 2y = 1 + (1,5 \times 2) = 4 \text{ m}$

$$\text{Jari-jari hidraulis} \quad R = \frac{A}{P} = \frac{1,5}{4} \quad R = 0,375 \text{ m}$$

$$\text{Kecepatan aliran pada saluran pembawa} \quad V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

$$= \frac{1}{0,025} \times 0,375^{\frac{2}{3}} \times 0,001^{\frac{1}{2}} = 0,645 \text{ m/s}$$

$$\text{Debit air pada saluran pembawa} \quad Q = A \times V = 1,5 \times 0,645 = 0,967 \text{ m}^3/\text{s}$$

Bak Penenang (*Forebay*)

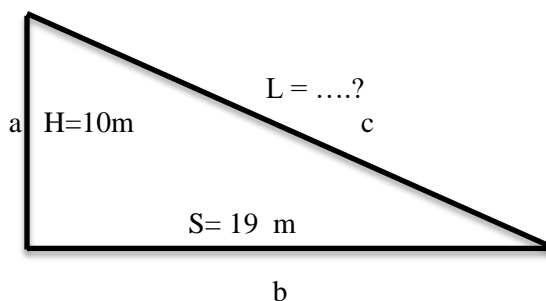
Untuk perhitungan dimensi bak penenang dibutuhkan data-data sebagai berikut, desain bak penenang pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

$Q = 0,967 \text{ m}^3/\text{s}$ $B = 3 \text{ m}$ $L = 5 \text{ m}$ $df = 1,50 \text{ m}$ dari desain tersebut maka tinggi dari bak penenang adalah 2m. Volume bak penenang sebagai berikut :

$$V_f = B \times L \times df = 3 \times 5 \times 1,50 = 22,5 \text{ m}^3$$

1. Pipa Pesat

a. Panjang pipa pesat (*penstock*)



$$\begin{aligned} c &= \sqrt{a^2 + b^2} \\ &= \sqrt{10^2 + 19^2} \\ &= 21,470 \text{ m} \end{aligned}$$

b. Diameter pipa pesat adalah:

$$D = 2,69 \left[\frac{n^2 X Q^2 X L}{H} \right]^{0,1875}$$

$$= 2,69 \times \left(\frac{0,014^2 \times 0,967^2 \times 21,470}{10} \right)^{0,1875} = 0,621 \text{ m}$$

c. Tebal pipa pesat yang direncanakan adalah :

$$\delta = D^3 \sqrt{\frac{n P_0}{2E}} = 0,621^3 \sqrt{\frac{4 \times 0,1}{2 \times 200000}} = 0,000239 \text{ m}$$

d. Kecepatan aliran air pada pipa pesat adalah :

$$V = \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

$$= \sqrt{2 \times 9,81 \times 10} = 14,007 \text{ m/s}$$

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

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (0,621)^2 = 0,303 \text{ m}^2$$

$$\text{Debit air yang masuk melalui pipa pesat } Q = A \times V = 0,303 \times 14,007 = 4,244 \text{ m}^3/\text{s}$$

e. Angka Reynolds

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{14,007 \times 0,621}{1,007 \times 10^{-6}} = 8,637,537$$

yang berarti bahwa tipe aliran adalah turbulen.

$$\frac{K}{D} = \frac{0,25}{621} = 0,0004 \text{ sehingga didapat } f = 0,016$$

f. Tinggi jatuh efektif adalah:

$$H_{ef} = H_s - hf = 19 - 5,531 = 13,469 \text{ m}$$

g. Kehilangan tenaga aliran melalui pipa akibat gesekan dalam pipa (hf) adalah :

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

$$= 0,016 \frac{21,470}{0,621} \times \frac{(14,007)^2}{2 \times 9,81} = 5,531 \text{ m}$$

h. Daya yang dihasilkan adalah :

$$P = Q \times \rho \times g \times H$$

$$= 4,244 \times 1000 \times 9,81 \times 13,469 = 560,763 \text{ kW}$$

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan perhitungan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Debit air pada saluran pembawa $0,967 \text{ m}^3/\text{s}$, kecepatan aliran pada saluran pembawa $0,645 \text{ m/s}$. Debit air pada pipa pesat $4,244 \text{ m}^3/\text{s}$, kecepatan aliran pada pipa pesat $14,007 \text{ m/s}$ dan tinggi jatuh air 10 m serta panjang pipa pesat $21,470 \text{ m}$ dan lebar penampang 1 m .
- Bangunan saluran pembawa pengambilan air dari sungai (*intake*) dengan panjang 10 m , lebar 1 m dan tinggi $1,5 \text{ m}$.
- Pipa pesat, bahan pipa besi tuang dengan diameter $0,621 \text{ m}$, tebal $0,000239 \text{ m}$ dan panjang $21,470 \text{ m}$.



- d. Kehilangan tenaga (hf) dalam pipa pesat (*penstock*) 5,531 m
- e. Potensi daya yang dapat dibangkitkan pada PLTMH Jaifuri secara teori adalah sebesar 560,763 kW.

DAFTAR PUSTAKA

Barlin Mahendra,dkk. 2013.Perancangan Pipa Pesat,Daan Daya Pembangkit Listrik Tenaga Air Koko Putih Desa Bilok PitungKecamatan Sembilu Kabuparen Lombok Timur.

Layman,s *Hydraulic Structures*.

Nadia Ulfah,dkk. Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Di Sungai Sibundong Upper Kabupaten Tapanuli Utara Provinsi Sumatera Utara.

Patty.O.F.1995. Tenaga Air. Erlangga.Jakarta.

Rizal Firmansyah,dkk. 2008.Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Gunung Sawur unit 3 Lumajang.

Triatmodjo Bambang. 1996. Hidrolik II.Cetakan Ke Empat. Penerbit. Beta offset.Yogyakarta.

Very Dwiyantoni. 2016.Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Studi Kasus: Sungai Air Anak (Hulu Sungai Way Besai).

www.google.com

<https://ezkhelenergy.blogspot.co.id/2013/11/pembangkit-listrik-tenaga-%20...>

