

Perancangan *Penstock* (Pipa Pesat) Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Di Banjar Dinas Mekarsari, Desa Panji, Kecamatan Sukasada, Kabupaten Buleleng

I Nengah Widiana¹, Ida Ayu Dwi Giriantari², I Nyoman Setiawan³

[Submission: 08-11-2020, Accepted: 29-11-2020]

Since 1980, Banjar Dinas Mekar Sari, Panji Village has had a Micro Hydro Power Plant (PLTMH). PLTMH which has a generating capacity of 10kW experiences various problems resulting in improper operation. One of the proposed improvements is a penstock (fast pipe) design in accordance with the PLTMH Banjar Dinas Mekar Sari. The new penstock design resulted in a penstock that was 54 meters long, a penstock diameter of 0.8272 meters, and a penstock thickness of 0.002 meters. The flow velocity on the penstock after the new design was 2.7088 m / s, and the net head was 16 meters. This improvement is intended to take full advantage of the height of the river flow so that a maximum flow rate can be generated which is then used to turn the turbine.

Keyword— Renewable energy, PLTMH, Micro hydro, Penstock

Sejak tahun 1980 banjar dinas Mekar Sari Desa Panji telah memiliki Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). PLTMH yang memiliki kapasitas pembangkitan 10kW ini mengalami berbagai permasalahan yang mengakibatkan operasinya yang tidak sesuai. Salah satu perbaikan yang diusulkan adalah perancangan *penstock* (pipa pesat) yang sesuai dengan PLTMH banjar dinas Mekar Sari. Perancangan *penstock* yang baru menghasilkan *penstock* dengan panjang 54 meter, diameter *penstock* 0,8272 meter dan tebal *penstock* sebesar 0,002 meter. Untuk kecepatan aliran pada *penstock* setelah di rancang baru adalah 2,7088 m/s, dan head bersih adalah 16 meter. Perbaikan ini dimaksudkan untuk memanfaatkan tinggi aliran sungai secara maksimal, sehingga kecepatan aliran dapat dihasilkan maksimal untuk selanjutnya digunakan memutar turbin.

Kata kunci— Energi terbarukan, PLTMH, mikrohidro, *penstock*

I. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki sumber daya alam yang melimpah, salah satunya adalah aliran sungai yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit tenaga listrik. Potensi energi *mini-micro hydro* di Indonesia adalah sebesar 19.385 MW dan 30 MW diantaranya terdapat di Bali, sedangkan pemanfaatannya hanya 197,4 MW, sekitar 1% dari potensi [1]. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah sebuah pembangkit listrik dengan pembangkitan listrik berskala kecil yang menggerakkan turbin dengan memanfaatkan tinggi terjunan dan jumlah debit aliran kecil seperti irigasi atau sungai. Pembangkit listrik dengan energi terbarukan masih rendah pada 2012 yaitu 11,31% dari produksi energi total. Pemanfaatan energi air dimulai dari tahun 1970, namun belum sering digunakan. [2].

Banjar Dinas Mekarsari, Desa Panji, Kecamatan Sukasada, Kabupaten Buleleng adalah salah satu banjar dinas yang sudah memanfaatkan energi air dari tahun 1980 sampai sekarang. Namun, dari tahun ke tahun pembangkitan energi listrik pada PLTMH Banjar Dinas Mekarsari terus mengalami penurunan. Pada tahun 2019 PLTMH Banjar Dinas Mekarsari membangkitkan energi listrik sebesar 200 W dari 10 kW yang dapat dibangkitkan oleh generator PLTMH Banjar Dinas Mekarsari. Hal tersebut terjadi karena komponen-komponen PLTMH Banjar Dinas Mekarsari telah rusak akibat tidak adanya pemeliharaan komponen secara berkala, PLTMH Mekar Sari juga dirancang tanpa melalui analisa teknis saat pembuatan PLTMH Banjar Dinas Mekarsari. Salah satu faktor penyebab menurunnya pembangkitan dari PLTMH Banjar Dinas Mekarsari adalah pemanfaatan tinggi aliran sungai yang dialirkan melalui *penstock* kurang maksimal. Saat ini panjang *penstock* di PLTMH Mekarsari kurang dari 5 meter. Berdasarkan keterbatasan diatas maka diperlukan desain ulang PLTMH yang beroperasi di Banjar Dinas Mekar Sari, Desa Panji, Kecamatan Sukasada, Buleleng.

Untuk mengatasi permasalahan, di dalam penelitian ini akan dilakukan perancangan ulang desain PLTMH untuk memanfaatkan aliran air pada Tukad Pasut secara optimal. Artikel ini membahas perancangan *penstock* PLTMH Mekar Sari berdasarkan data potensi di lokasi.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

p-ISSN:1693 – 2951; e-ISSN: 2503-2372

¹Mahasiswa, Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jalan Bhuana Raya no 103, Denpasar 80117. Indonesia (telp:085792176110; e-mail:widiananengah97@gmail.com)

^{2,3}Dosen, Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jln. Jalan Kampus Bukit Jimbaran 80361 INDONESIA (telp: 0361-703315; fax: 0361-4321; e-mail: ²dayu.giriantari@unud.ac.id, ³setiawan@unud.ac.id)



PLTMH adalah penggunaan tenaga air untuk membangkitkan listrik dalam ukuran kecil (5 – 100 kW). Mikrohidro diartikan sebagai daya kurang dari 100 kW dan daya antara 100 kW sampai 5000 kW disebut minihidro [3].

PLTMH jenis *run-off*, tanpa pembangun bendungan besar, namun aliran sungai ke salah satu sisi dapat dialihkan dan mengembalikan aliran air ke kesebelumnya setelah aliran air yang diperlukan untuk pembangkitan telah didapatkan. Air berfungsi untuk menggerakkan turbin melalui pipa pesat. PLTMH menggunakan tinggi terjunan dan kapasitas debit aliran air. Kemudian poros turbin berputar dengan memanfaatkan aliran air sehingga menghasilkan energi listrik[4]. Pada prinsipnya PLTMH bekerja dengan cara mengubah energi potensi air menjadi energi listrik[5].

B. Penstock

Penstock ialah pipa yang dialiri air bertekanan dari bak penampungan ke turbin[6]. *Penstock* dapat juga disebut dengan pipa bertekanan[7].

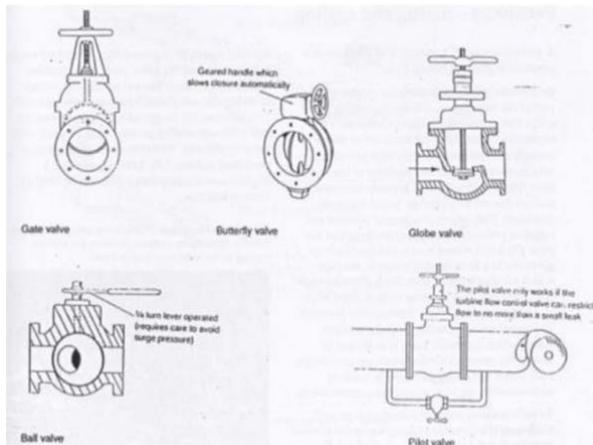
C. Bahan Penstock

Bahan yang berasal dari bambu dan kayu dapat dimanfaatkan sebagai bahan alami.

Baja, UPVC, HDPE, GRP dan beton merupakan bahan buatan yang dapat digunakan sebagai pipa pesat [8].

D. Katup

Katup ialah komponen *penstock* sebagai pengontrol aliran air. Contohnya adalah, *butterfly valve*, *ball valve*, *globe valve*, *pilot valve*, dan *gate valve* [9]. Katup umumnya berada di saluran *inlet* dan saluran *inlet* turbin.



Gambar 1: Jenis-jenis katup[9]

E. Perancangan Penstock

Perancangan *Penstock* PLTMH menggunakan persamaan sebagai berikut[9].

1. Diameter *Penstock* (d)[9]

$$d = 0,72 \cdot Q^{0,5} \quad (1)$$

Dimana :

d = Diameter *penstock* (m)

Q = Debit (m³/s)

2. Tebal *Penstock* (t) [9]

$$t = \frac{(p \times g \times H) \times r \times 1000}{q} \quad (2)$$

Dimana :

p = Massa jenis air (ton/m³)

g = Percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

H = Tinggi (m)

r = Jari-jari *penstock* (m)

q = Tegangan material pipa (ton/m³)

3. Kecepatan Aliran Pada *Penstock* (v) [9]

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2} \quad (3)$$

Dimana :

v = Kecepatan aliran (m/s)

d = Diameter *penstock* (m)

4. Menghitung $h_{friction}$ ($h_{friction}$) [9]

$$h_{friction} = h_{wall loss} + h_{turb loss} \quad (4)$$

Dimana

$h_{friction}$ = Rugi gesekan (m)

$h_{wall loss}$ = Rugi pada dinding *penstock* (m)

$h_{turb loss}$ = Rugi pada aliran turbulensi (m)

5. Menghitung $h_{wall loss}$ [9]

$$h_{wall loss} = \frac{f \cdot l \cdot pipe \cdot 0,00 \cdot Q^2}{d^5} \quad (5)$$

Dimana

Q = Debit (m³/s)

L = Panjang *penstock* (m)

d = Diameter (m)

f = Konstanta friksi

6. Menghitung Head_{net}[9]

$$H_{net} = H_{gross} + h_{frictions} \quad (6)$$

7. Menghitung $h_{turb loss}$ [9]

$$h_{turb loss} = \frac{v^2}{2g} (K_{entrance} + K_{bend} + K_{contraction} + \dots K_{valve}) \quad (7)$$

Dimana :

v = Kecepatan aliran (m/s)

g = Gaya gravitasi (m/s²)

8. Penghitungan h_{surge} dan Kecepatan Rambat Gelombang (a) [9]

$$h_{surge} = \frac{a \cdot v}{g} \quad (8)$$

Dimana

v = Kecepatan aliran (m/s)

g = Gaya gravitasi (m/s²)

$$a = \frac{1400}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,2 \times 10^9 \times d}{E \times t} \right)^2}} \quad (9)$$

9. Penghitungan Safety Factor (SF) [9]

$$SF = \frac{t \times S}{S \times h_{total} \times 10^3 \times d} \quad (10)$$

Dimana

SF = Safety factor

t = tebal *penstock* (m)

S = kekuatan Bahan (N/m²)

d = diameter (m)

h_{total} = rugi-rugi total (m)

F. Expansion Joint

Expansion joint adalah sambungan yang didesain akibat adanya pemuaian pada pipa pesat sehingga menyebabkan perubahan panjang disetiap ujung pada pipa pesat[10]. Fungsi *expansion joint* ialah untuk menahan gesekan pada saat air dialirkan[11][12],[13],[14],[15]

Berikut adalah rumus *expansion joint*[9].

$$X = a (Thot - Tcold)L [m] \quad (11)$$

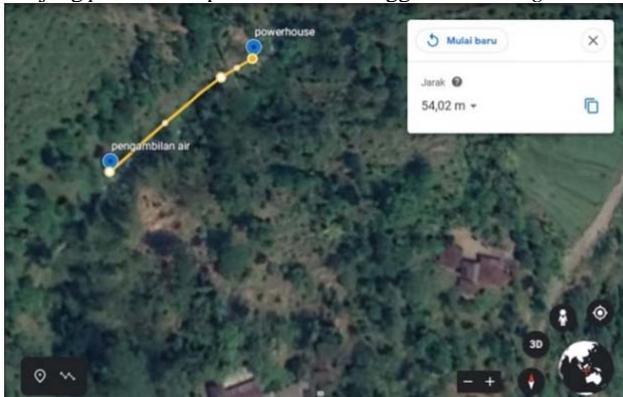
Keterangan :

- x = panjang expansion pipa (m)
- a = coefficient of expansion (m/m°C)
- L = Panjang penstock (m)
- Thot = Temperatur tertinggi pada pipa (°C)
- Tcold = Temperatur terendah pada pipa (°C)

III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian diawali dengan indentifikasi lokasi penelitian untuk mengetahui lokasi dari PLTMH dan kondisi terkini dari PLTMH[16][17],[18],[19],[20].Mekar Sari serta letak geografisnya menggunakan *Google Earth*.

Langkah selanjutnya adalah pengumpulan debit air yang dimanfaatkan yang diketahui 1,32 m³/detik yang didapatkan dari Balai Wilayah Sungai Bali-Penida. Dari hasil observasi terakhir diperoleh bahwa kondisi debit tidak banyak berubah. Panjang *penstock* dapat diketahui menggunakan *Google Earth*



Gambar 2: Panjang lintasan *penstock*

Selain itu, setelah mengetahui debit sungai, maka diameter *pesstock* dapat dihitung menggunakan persamaan 1. Selanjutnya tebal *penstock* dapat dihitung dengan persamaan 2. Ditentukannya jumlah katup dan jenis katup *penstock*, jumlah *anchor block* dan *slide block* dalam mempertahankan guncangan yang disebabkan oleh gaya-gaya pada *penstock* agar tetap pada posisinya sehingga *penstock* tidak mengalami pergeseran.

Setelah digambar sesuai dengan data perancangan, maka dilakukan perhitungan kecepatan aliran di dalam *penstock*, seperti rugi-rugi gesekan, rugi-rugi turbulensi, rugi-rugi total yang terjadi, persentase kehilangan *head*, *surger pressure*, *safety factor*, *expansion joint* yang berfungsi untuk mengetahui tebal bahan yang digunakan untuk meredam gerakan yang diakibatkan dari perubahan suhu akibat gesekan air dalam *penstock* dan beban air dalam *penstock* yang bergerak

I Nengah Widiana : Perancangan *Penstock* (Pipa Pesat)...

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Listrik yang ada di Desa Panji di pasok melalui penyulang Panji, namun untuk daerah selatan Desa Panji belum semua teraliri listrik dikarenakan akses jalan yang belum memadai. Jarak terdekat untuk mencapai jaringan listrik PLN adalah 1 km. Lokasi Desa Panji dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3: Lokasi Desa Panji (*Google Earth*)

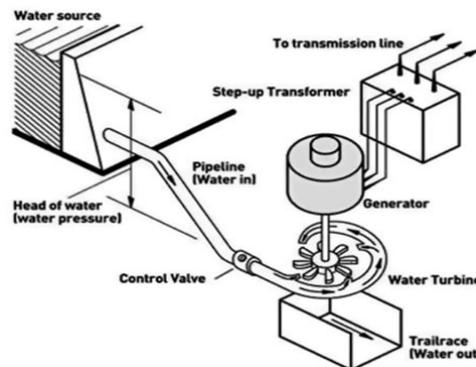
PLTMH Mekar Sari adalah sebuah pembangkit yang dibangun pada tahun 1980 dan digunakan sebagai sumber tenaga listrik oleh masyarakat di Desa Panji. Namun sejak tahun 2019, PLTMH ini sudah tidak beroperasi lagi karena sudah tua dan banyak komponennya yang rusak. Sungai yang dimanfaatkan untuk PLTMH adalah sungai atau *Tukad Pasut*. Gambar 5 menunjukkan kondisi sungai Pasut dan turbin PLTMH Mekar Sari.



(a) Sungai Pasut (b) *Penstock* lama

Gambar 4: Kondisi sungai dan *penstock* PLTMH Mekar Sari

PLTMH Mekar Sari terdiri dari bak penenang, governor, penstock, turbin air, *pully*, generator, instalasi listrik sederhana, dan saluran pembuangan. Untuk lebih jelas bisa dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5: Skematik PLTMH Mekar Sari[12]



Redesain PLTMH yang ada di Banjar Dinas Mekar Sari, Desa Panji memanfaatkan aliran sungai Tukad Pasut yang memiliki debit terkecil $1.32 \text{ m}^3/\text{detik}$. *Head net* yang didapatkan adalah 16 m dengan panjang *penstock* 54,02 m. *Power House* yang digunakan adalah yang *power house* yang sudah ada sebelumnya. Perancangan turbin secara lengkap akan dijelaskan di bawah ini.

A. Diameter *Penstock*

Diameter *penstock* dipengaruhi oleh debit air yang di manfaatkan. Perhitungan diameter *penstock* menggunakan persamaan 2 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} d &= 0,72 \cdot Q_d^{0,5} \\ &= 0,72 \cdot 1,32^{0,5} \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 0,72 \cdot 1,1489 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 0,8272 \text{ m} \end{aligned}$$

B. Tebal *Penstock*

Tebal *penstock* dapat di hitung menggunakan Persamaan 2.

$$\begin{aligned} t &= \frac{(0,997 \times 9,8 \times 17) \times 0,4136 \times 1000}{35126,397} \\ t &= \frac{(166,10) \times 0,4136 \times 1000}{35126,397} \\ t &= \frac{68,7}{35126,397} \\ t &= 0,00195 \text{ m} \\ t &= 1,95 \text{ mm} \\ t &= 2 \text{ mm} \end{aligned}$$

C. Bahan *Penstock*

Mild Steel Galvanized (Baja berlapis) ialah bahan yang digunakan sebab dapat menahan tekanan yang terjadi sewaktu-waktu pada *penstock*.

D. Sambungan dan Jumlah Belokan *Penstock*

Perancangan *penstock* ini memanfaatkan sambungan pengelasan, sebab harga yang murah daripada dengan yang lain serta menyesuaikan dengan letak *penstock* yang akan dibangun.

Sesuai dengan gambar 2, karena pada perancangan *penstock* ini mengikuti kontur atau topografi dari daerah aliran sungai sehingga jumlah belokan pada lintasan *penstock* terdapat 2 buah belokan.

E. Katup dan Jumlah *Anchor* dan *Support Block*

Pada rancangan ini didapatkan bahwa *penstock* menggunakan pada inlet *penstock* ialah *gate valve* dan *butterfly valve* pada outlet *penstock*.

Berdasarkan panjang lintasan pada gambar 2, maka jumlah *anchor block* sebanyak 3 buah.

Kebutuhan *slide block* adalah 11 buah.

F. Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran pada *penstock* dapat dihitung menggunakan persamaan 3.

$$\begin{aligned} v &= \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2} \\ &= \frac{4 \cdot 1,32}{3,14 \cdot 0,8272^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v &= \frac{5,82}{2,1485} \\ v &= 2,7088 \text{ m/s} \end{aligned}$$

G. Rugi-rugi pada *Penstock*

1. Rugi-rugi gesekan pada dinding *penstock*

Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 5.

$$\begin{aligned} h_{\text{wall loss}} &= \frac{f \cdot L \cdot 0,08 \cdot Q^2}{d^5} \\ h_{\text{wall loss}} &= \frac{0,038 \cdot 54 \cdot 0,08 \cdot 1,32^2}{0,8272^5} \\ h_{\text{wall loss}} &= \frac{0,038 \cdot 54 \cdot 0,08 \cdot 1,7424}{0,3873} \\ h_{\text{wall loss}} &= \frac{0,2860}{0,3873} \\ h_{\text{wall loss}} &= 0,7385 \text{ m} \end{aligned}$$

2. Rugi-rugi Turbulensi pada *Penstock*

Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 7.

$$\begin{aligned} h_{\text{tub loss}} &= \frac{V^2}{2 \cdot g} (K_{\text{entrance}} + K_{\text{Bend}} + K_{\text{valve}}) \\ h_{\text{tub loss}} &= \frac{2,7088^2}{2 \cdot 9,8} (0,805) \\ h_{\text{tub loss}} &= \frac{7,3375}{19,6} (0,805) \\ h_{\text{tub loss}} &= 0,3734 (0,805) \\ h_{\text{tub loss}} &= 0,3005 \text{ m} \end{aligned}$$

3. Rugi-rugi *Friction*

Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 4.

$$\begin{aligned} h_{\text{friction}} &= h_{\text{wall loss}} + h_{\text{tub loss}} \\ h_{\text{friction}} &= 0,7385 + 0,3005 \\ h_{\text{friction}} &= 1,039 \text{ m} \end{aligned}$$

H. *Head_{net}*

Head_{net} dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 6.

$$\begin{aligned} H_{\text{gross}} &= 17 \text{ m} \\ H_{\text{net}} &= H_{\text{gross}} - h_{\text{friction}} \\ H_{\text{net}} &= 17 - 1,039 \\ H_{\text{net}} &= 15,961 \text{ m} \end{aligned}$$

Hasil *H_{net}* adalah 15,961 m dikonversi menjadi 16 m.

Kemudian hitung persentase *losses*, maka didapatkan.

$$\begin{aligned} \% \text{Losses} &= \frac{h_{\text{friction}}}{H_{\text{gross}}} \times 100\% \\ \% \text{Losses} &= \frac{1,039}{17} \times 100\% \\ \% \text{Losses} &= 0,061 \times 100\% \\ \% \text{Losses} &= 6,1 \% \end{aligned}$$

I. *Surge Pressure*

Menentukan *pressure wave velocity* :

$$a = \frac{1400}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,1 \times 10^9 \times d}{E \times t} \right)}}$$

$$a = \frac{1400}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,1 \times 10^9 \times 0,8272}{200 \times 10^9 \times 2}\right)}}$$

$$a = \frac{1400}{\sqrt{1 + \left(\frac{1,73712}{0,4}\right)}}$$

$$a = \frac{1400}{\sqrt{1 + (4,3428)}}$$

$$a = \frac{1400}{\sqrt{5,3428}}$$

$$a = \frac{1400}{2,3114}$$

$$a = 605,7 \text{ m/s}$$

Menggunakan persamaan *Surge pressure*

$$h_{surge} = \frac{a \cdot v}{g}$$

$$h_{surge} = \frac{605,7 \cdot 2,7088}{9,8}$$

$$h_{surge} = 167,42 \text{ m}$$

J. Rugi-rugi Total

Rugi-rugi total dapat dihitung dengan menggunakan persamaan.

$$h_{total} = H_{gross} + h_{surge}$$

$$h_{total} = 17 + 167,42$$

$$h_{total} = 184,42 \text{ m}$$

K. Safety Factor

Safety factor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 10.

$$SF = \frac{t \times s}{5 \times h_{total} \times 10^3 \times d}$$

$$SF = \frac{0,002 \times 350000000}{5 \times 184,42 \times 10^3 \times 0,8272}$$

$$SF = \frac{700}{765,9}$$

$$SF = 0,9$$

$$SF = 1$$

L. Uraian hasil perhitungan

Uraian hasil perhitungan untuk perancangan *penstock*.

TABEL I
URAIAN PERANCANGAN *PENSTOCK*

No.	Uraian Perancangan	Hasil Perancangan
1	Bahan <i>Penstock</i>	<i>Mild Steel Galvanized</i>
2	Panjang <i>Penstock</i>	54 m
3	Diameter <i>Penstock</i>	0,8272 m
4	Tebal <i>Penstock</i>	0,002 m
5	Jumlah belokan	2 belokan
6	Sudut belokan pertama	10°
7	Sudut belokan kedua	60°
8	Jumlah Katup	2 katup
9	<i>Gate Valve</i>	1 katup
10	<i>Butterfly valve</i>	1 katup
11	Jumlah <i>Anchor block</i>	3 buah
12	Jumlah <i>Slide block</i>	11 buah

Data perhitungan setelah perancangan *penstock*.

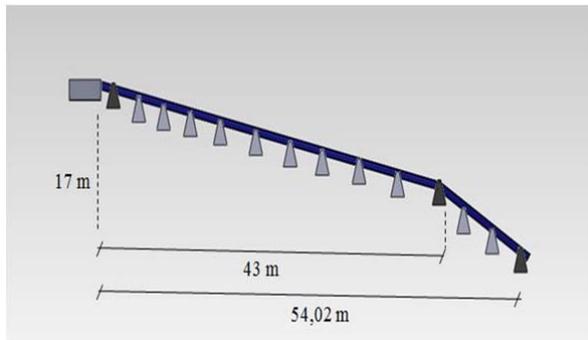
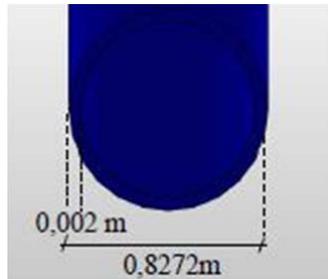
TABEL II
DATA PERHITUNGAN SETELAH PERANCANGAN *PENSTOCK*

No	Data Perhitungan	Hasil Perhitungan	
1	Kecepatan Aliran	2,7088 m/s	
2	Rugi-rugi pada dinding <i>penstock</i>	0,7385 m	
3	Rugi-rugi turbulensi	0,3005 m	
4	Rugi-rugi gesekan	1,039 m	
5	<i>Head_{gross}</i>	17 m	
6	<i>Head_{net}</i>	16 m	
7	Persentase kehilangan <i>Head</i> akibat rugi-rugi	6,1 %	
8	<i>Surge pressure</i>	167,42 m	
9	Rugi-rugi total	184,42 m	
10	<i>Safety Factor</i>	1	
11	<i>Expansion joint</i>	L1 (43 m)	7,74 mm
		L2 (11 m)	1,98 mm
12	Gaya pada <i>Anchor block</i>	qw (water)	5262 N/m
		qp (steel)	107214,76 N/m
13	Gaya pada <i>Slide block</i>	F1	12890 N
		F2	6445,27 N

M. Desain *Penstock*

Menurut perhitungan yang telah didapatkan maka dilakukan pendesainan *penstock* menggunakan aplikasi komputer. Berikut hasil desain *penstock*



Gambar 6: Desain *penstock* tampak sampingGambar 7: Desain *penstock* tampak depan

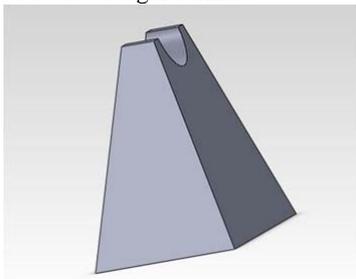
N. Desain *Anchor Block*

Desain *anchor block* sebagai berikut.

Gambar 8: Desain *anchor block*

O. Desain *Slide Block*

Desain *slide block* sebagai berikut.

Gambar 9: Desain *slider block*

V. KESIMPULAN

Simpulan pada penelitian ini, bahan pembuatan *penstock* menggunakan baja berlapis. *Penstock* dengan panjang 54 m dengan 2 belokan, dan 3 buah *anchor block*, 11 *slide block*. Garis tengah *penstock* yaitu 0,8272 m dan 0,002 m tebalnya. Kecepatan aliran air di dalam *penstock* sebesar 2,7088 m/s. *Expansion joint* yaitu 7,72 mm dan 1,98 mm. $Head_{gross}$ sebesar 17 m dengan $Head_{net}$ sebesar 16

m. *Surge pressure* diperoleh 167,42 m dan rugi-rugi total yang terjadi pada *penstock* 184,42.

REFERENSI

- [1]. PT. PLN (Persero). 2019. Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2019 – 2028. Jakarta: Kementerian ESDM
- [2]. Kementrian Energi Dan Sumber Daya Mineral. 2013. Statistik Energi Baru, Terbarukan Dan Konservasi Energi.
- [3]. Jellyn Trissiana, 2019. Studi Potensi Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di Kawasan Wisata Air Terjun Sumarwangi Desa Tirtomarto Kecamatan Ampelgading Kabupaten Malang
- [4]. Dedi Nugroho, Agus Suprajitno dan Gunawan, 2017. Desain Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Air Terjun Kedung Kayang.
- [5]. I Wayan Budiarsana Saputra, Antonius Ibi Weking, dan Lie Jasa, 2017. Rancang Bangun Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Menggunakan Kincir *Overshot Wheel*
- [6]. Mohammad Arief Rusdiono, Suwanto Marsudi, dan Prima Hadi Wicaksono 2018. Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di Saluran Primer Sindupraja Kabupaten Majalengka Provinsi Jawa Barat.
- [7]. Richiraj P Moni, Bijimol Joseph, Dangy George, and Jithin Jose, 2018. *Design and Analysis of Anchor Block and Penstock Pipe of a Hydroelectric Project*.
- [8]. Joko Susetyo, Imam Sodikin dan Taufik Narrohim, 2019. Usulan Pengendalian dan Perbaikan Kualitas Pengelasan Pipa *Penstock* Dengan Metode *Six Sigma Seven Tools* dan 4M+IE
- [9]. Harvey, Adam. 1993. *Micro-Hydro Design Manual, Intermediate Technology Publications: London*.
- [10]. L Hensley, 2018. *Expansion Joint System*.
- [11]. Dhimansyah, 2017. Studi Literatur Expansion Joint. [Online]. Tersedia pada : https://elib.unikom.ac.id/files/disk1/584/jbptunikompp-gdl-dhimassyah-29193-8-unikom_d-2.pdf
- [12]. Agus Sugiharto, 2018. PLTMH Sebagai Alternatif Pembangkit Listrik Ramah Lingkungan.
- [13]. D P D Suparyawan, I N S Kumara, dan W G Arisastina, 2013. Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Mikrohidro di Desa Sambangan Kabupaten Buleleng Bali.
- [14]. K. Daniel Kristama Vika, Antonius Ibi Weking, dan Lie Jasa, 2018. Studi Analisis Pengaruh Posisi Nozzle Terhadap Pout Pada Prototipe PLTMH.
- [15]. I Gede Widnyana Putra, Antonius Ibi Weking, dan Lie Jasa, 2018. Analisa Pengaruh Tekanan Air Terhadap Kinerja PLTMH dengan Menggunakan Turbin *Archimedes Screw*.
- [16]. I Putu Juliana, Antonius Ibi Weking, dan Lie Jasa, 2018. Pengaruh Sudut Kemiringan Head Turbin Ulir dan Daya Putar Turbin dan Daya Output Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro.
- [17]. Lie jasa, I Putu Ardana, Ardyono Priyadi, and Mauridhi Hery Purnomo, 2016. *Investigate Curvature Angle of the Blade of Bangki's Water Model for Improving Efficiency by Means Particle Swarm Optimization*.
- [18]. Budi Hartadi, 2015. Perancangan *Penstock*, Runner dan Spiral Casing Pada Turbin Air Kaplan Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Listrik Mikrohidro (PLTMH) Di Sungai Sampanahan Desa Magalau Hulu Kabupaten Kotabaru. Universitas Islam Kalimantan. Volume 1, No1.
- [19]. Peraturan Presiden No. 22 Tahun 2017, Tentang Rencana Umum Energi Nasional
- [20]. Suryanto, dkk, 2019. Analisis Perancangan *Penstock* PLTMH di Eremerasa Kabupaten Bantaeng dengan Menggunakan ANSYS. Volume 17(1): 16-24.