

Perhitungan *Head Losses* Pada Pipa *Penstock* Turbin *Propeller*

Henny Sudiby^{1,a)} dan Anjar Susatyo^{2,b)}

^{1,2}Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik - LIPI
Komplek LIPI Gedung 20, Jalan Sangkuriang, Bandung, Indonesia, 40135

^{a)}henny.sudiby0@lipi.go.id

^{b)}anjarsusatyo@yahoo.com

Abstrak

Penelitian tentang potensi pembangkit listrik tenaga air telah dilakukan di Jorong Buah Dama, Kecamatan Tigo Lurah, Kabupaten Solok, Propinsi Sumatera Barat. Pada penelitian tersebut telah dihasilkan pengukuran potensi debit air $1,1\text{m}^3/\text{det}$ dan ketinggian air yang didapatkan yaitu sebesar $110,65\text{m}$. Dari data tersebut dilakukan perhitungan dan diperoleh daya sebesar 985kW . Untuk membawa air dari bak penenang ke turbin diperlukan pipa yang mampu menahan tekanan yang cukup tinggi, pipa ini disebut pipa pesat atau *penstock*. Dasar perancangan pipa pesat ini adalah sama dengan perencanaan tangki dan vessel (bejana tekan). Kehilangan energi di *penstock* yang disebut *head loss* disebabkan faktor-faktor, seperti kekasaran permukaan pipa, tikungan, kerugian gesekan pada *penstock*, adanya percabangan dan sebagainya. Dari perhitungan di peroleh nilai-nilai *head loss* pada pipa *penstock* sebesar $0,05\text{ m}$ (*entrance losses*), $1,626\text{m}$ (*pipe friction losses*), $0,057\text{m}$ (*losses of bends*), $0,039\text{m}$ (*losses of branches*), $0,0495\text{m}$ (*losses of branch pipe to gate valve*), $0,05838\text{m}$ (*losses of bend on branch*), $0,053\text{m}$ (*losses of valve*), $0,046\text{m}$ (*losses of reducer*), $0,016\text{m}$ (*losses of drafttube*), jika dijumlahkan total *head loss* sebesar $2,33\text{m}$. Sehingga net head sebesar $108,32\text{m}$.

Kata-kata Kunci : *head losses*, *penstock*, pembangkit listrik, turbin

PENDAHULUAN

Kegiatan penelitian ini dilaksanakan di Jorong Buah Dama, Kenagarian Rangkang Luluh, Kecamatan Tigo Lurah, Kabupaten Solok, Propinsi Sumatera Barat. Secara geografis daerah ini terletak pada koordinat sekitar $100^{\circ} 52' 15,6''$ Bujur Timur dan $0^{\circ} 57' 9,7''$ Lintang Selatan. Secara fisiografi daerah penelitian ini termasuk dalam Lajur Bukit Barisan yang terdiri dari batuan alas beku dan malihan serta batuan gunung api muda. Provinsi Sumatera Barat juga memiliki sumber potensi pembangkit listrik tenaga mikrohidro yang dapat dikembangkan untuk kebutuhan masyarakat terutama di daerah yang belum terlayani PLN. Sumber PLTMH Sumatera Barat tersebar di Kabupaten Pesisir Selatan, Solok, Solok Selatan, Tanah Datar, Pariaman, Agam, Pasaman dan di daerah Pasaman yang berskala besar. Di Kabupaten Solok ada sekitar 80 sungai yang mengalir di kecamatan-kecamatan Solok. Aliran sungai tersebut memberikan kemanfaatan untuk dikembangkan sebagai sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro [1]. Penelitian besarnya potensi pembangkit listrik tenaga mikrohidro di Kabupaten Solok Kecamatan Tigo Lurah, Rangkang Luluh sebesar kurang lebih 985 KW . Potensi tersebut jika dikembangkan akan menjadi sumber energi terbarukan yang memberikan kemanfaatan untuk pembangunan di Kabupaten Solok [2]. Kondisi geologi lokasi penelitian termasuk dalam kategori curam ($30\% - 70\%$) sehingga berpotensi untuk mencapai beda tinggi yang maksimal yang ikut menaikkan daya atau energi yang diperoleh [3].

Salah satu komponen sistem PLTMH yaitu pipa pesat atau *penstock*. Pipa pesat atau *penstock* merupakan saluran pada sistem PLTMH yang digunakan untuk mengalirkan air dari kolam bak penenang atau tandon ke rumah pembangkit (*power house*), pipa pesat ini mengalirkan serta mengarahkan air ke turbin juga berfungsi untuk mendapatkan tekanan hidrostatis yang tinggi. Kehilangan energi di *penstock* disebabkan oleh beberapa faktor, seperti kekasaran permukaan, perluasan bagian atau pengurangan, tikungan [4,5]. Makalah ini bertujuan untuk mengetahui besarnya kehilangan energi pada pipa *penstock* yang disebabkan karena faktor kekasaran permukaan pipa, tikungan, kerugian gesekan, adanya percabangan.

METODE PERANCANGAN

Pada makalah ini, kami melakukan perhitungan kerugian energi yaitu *head loss* pipa *penstock* atau pipa pesat berdasarkan referensi atau studi literatur mengenai materi-materi yang menunjang dalam perancangan ini. Secara umum *penstock* yang menyebabkan kerugian berada pada bagian saluran masuk *penstock*, kerugian didalam *penstock* itu sendiri, serta ada di tikungan atau belokan *penstock* tersebut.

Perancangan perhitungan kerugian *penstock* ini dilakukan berdasarkan kriteria debit aliran dan *head* yang terdapat pada sungai di Jorong Buah Dama, Kecamatan Tigo Lurah, Kabupaten Solok. Setelah literatur terkumpul dan data mengenai *head* tersedia dan debit aliran air di Jorong Buah Dama, Kecamatan Tigo Lurah, Kabupaten Solo didapatkan, maka dihitung dimensi diameter *penstock*, kemudian mulai melakukan perhitungan-perhitungan untuk mengetahui kehilangan energi (*entrance losses, pipe friction losses, losses of bends, losses of branches, losses of branch pipe to gate valve, losses of bend on branch, losses of valve, losses of drafttube*). Dari hasil perhitungan kehilangan energi pipa pesat akan dihitung *head* efektif, dengan cara mengurangi *head* tersedia dengan total *head losses*.

PERHITUNGAN HEAD LOSSES

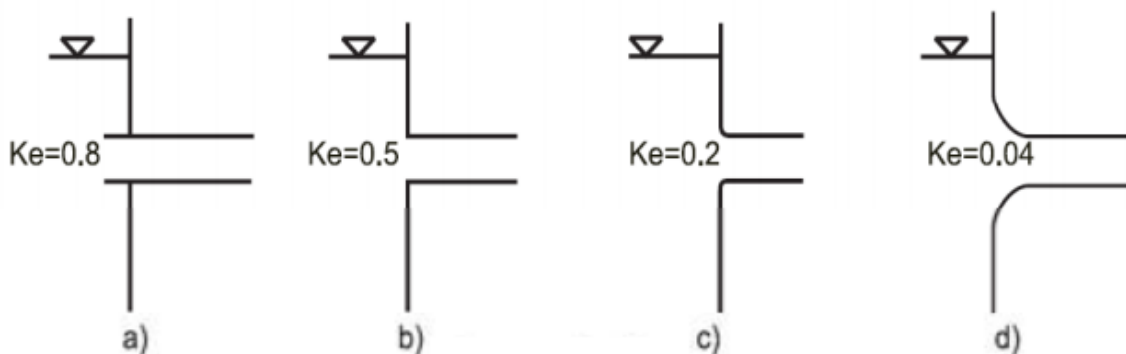
Pada survey yang telah dilakukan di Jorong Buah Dama, Kecamatan Tigo Lurah, Kabupaten Solok, Propinsi Sumatera Barat tersebut telah dihasilkan pengukuran potensi debit air 1,1 m³/det dan ketinggian air yang didapatkan yaitu sebesar 110,65m. Dari data tersebut dilakukan perhitungan dan diperoleh daya sebesar 985kW. Parameter perhitungan *head losses penstock* pada pembangkit ini meliputi panjang *penstock* (L)= 280m, kecepatan (v)=2.21 m/sec, diameter pipa (D)=0,8m serta jumlah *penstock* sebesar 1 unit. Perhitungan *head loss* pada *penstock* berdasarkan referensi [6,7,8]. Perhitungan dijelaskan pada bagian bawah berikut ini.

1. Kerugian Masuk Penstock Pada *Intake (Entrance Losses)*

Perbedaan *penstock* pada sisi masukan bak penenang menyebabkan terjadinya kerugian atau kehilangan energi, perhitungan *head loss* dapat dirumuskan :

$$hc = K \frac{v^2}{2.g} \tag{1}$$

Dengan nilai K merupakan koefisien masukan berdasarkan standar yang digunakan yaitu pada buku Layman dan bentuk masukan *penstock* yang digunakan pada pembangkit mikrohidro Rangkaian Luluh ini sesuai bentuk dengan nilai K =0,2 yaitu ada sedikit belokan pada pipa masuk, v merupakan kecepatan air sebesar 2.21 m/det, nilai g= 9,8 m/det²



Gambar 1. Koefisien masukan pada *penstock*

Nilai hc dari perhitungan didapatkan sebesar 0.05m

2. Kerugian Karena Gesekan (*Friction Losses*)

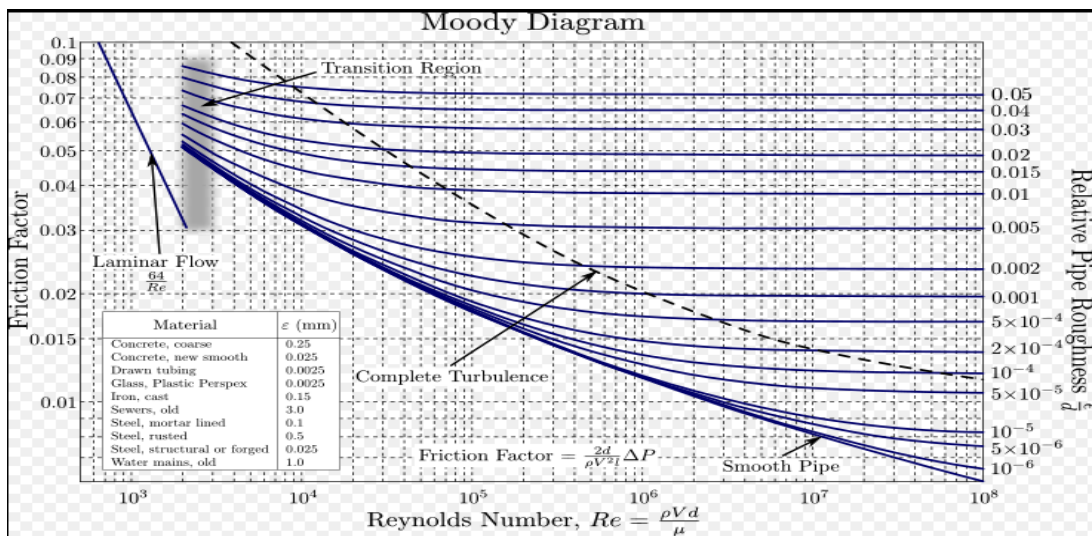
Total kerugian energi antara gesekan pipa dan air pada *penstock* tergantung panjang pipa (L) serta diameter pipa (D) dan kecepatan air (v) didalam pipa yang bisa diformulasikan :

$$h_f = x \left(\frac{L}{D}\right) x \left(\frac{v^2}{2.g}\right) \tag{2}$$

Dengan h_f merupakan energi *losses* pada pipa *penstok*, dengan f dapat diperoleh dari persamaan [7] :

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10}\left(\frac{e/D}{3.7} + \frac{5.74}{R^{0.9}}\right)\right]^2} \tag{3}$$

$$N_R = \frac{DxV}{\nu} \tag{4}$$



Gambar 2. Diagram *Moody*

R merupakan bilangan *Reynolds*, dengan e merupakan tingkat kekasaran pipa, tingkat kekasaran pipa dipengaruhi permukaan material pipa yang digunakan, pada pembangkit ini direncanakan menggunakan pipa baja las dengan nilai $e = 0,600$ mm. Dengan mengidentifikasi nomor *Reynold*, jenis aliran yang akan melewati pipa akan diidentifikasi, seperti apakah aliran turbulen atau aliran laminar (jika $N_R > 2300$ itu adalah aliran turbulen, di sisi lain jika $N_R < 2300$ itu adalah aliran laminar). Berdasarkan jenis aliran dengan $Re = 1,348,565$, untuk aliran turbulen. Grafik *Moody* dapat digunakan untuk menentukan nilai f (koefisien gesekan), pada saat yang sama untuk koefisien gesekan lantai laminar dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan $f = 64/N_R$. N_R merupakan bilangan *Reynold* yang merupakan hasil perkalian dari diameter pipa *penstocks* dengan kecepatan kinematik air (1.31×10^{-6}).

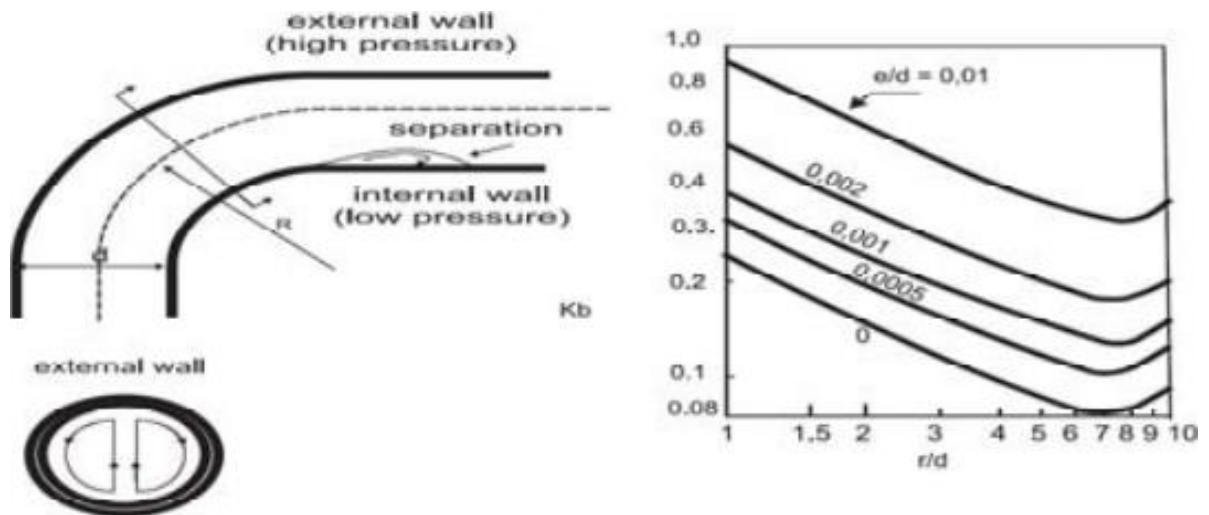
Dengan mengidentifikasi nilai $e/D = 0,600 / 800 = 0,00075$ nilai f berdasarkan grafik *Moody* diperoleh dalam jumlah 0,01900 dan dengan menggunakan rumus empiris, f value = 0,01869 dapat diperoleh. Dari hasil perhitungan total kehilangan energi *penstock* karena faktor gesekan sebesar 1,625 m

3. Kerugian pada tikungan atau belokan *penstock* (*Head loss at the Penstock bend*)

Berdasarkan perencanaan *penstock*, ada tiga tikungan yang memiliki sudut lengkung antara $11^\circ - 23^\circ$. Kehilangan energi di tikungan dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$h_b = K \frac{v^2}{2.g} \tag{5}$$

Dari Layman's Guide Book di mana h_b merupakan kehilangan energi di tikungan (m), K merupakan konstanta menekuk yang digambarkan pada gambar 3 yang tergantung pada sudut tekuk, dengan v kecepatan air dan g merupakan gravitasi. Berdasarkan tersebut diatas diperoleh nilai kehilangan penstok pada 3 belokan sebesar $h_b = 0.057m$



Gambar 3. Koefisien kerugian pada tikungan atau tekukan [7]

Pada gambar 3 menunjukkan nilai-nilai koefisien belokan (K_b) akan menunjukkan perbedaan seiring dengan perbedaan nilai-nilai dari rasio R/D untuk berbagai kekasaran. Kerugian pada tikungan dengan sudut di bawah 90 derajat hampir sebanding dengan sudut tikungan.

4. Kerugian pada percabangan penstock (*Head loss at the branch*)

Sistem pembangkit listrik minihidro di Rangkaian Lulueh ini direncanakan menerapkan satu unit *penstock*. *Head loss* pada percangan *penstock* diformulasikan sebagai berikut.

$$hb = Kb \frac{v^2}{2.g} \tag{6}$$

Dengan v = kecepatan cabang, (2,88 m/det) , g = gravitasi (9,81 m/det²) K_b = koefisien cabang (0,2 untuk bifurkasi simetris dan 0,3 untuk trifisis simetris) dan dari perhitungan diperoleh nilai $hb = 0.03928m$

5. Kerugian pada geseran manifold (*Head Loss due to Manifold friction*)

Mirip dengan perhitungan kerugian pada *penstock*, *head loss* karena gesekan dihitung menggunakan metode yang sama, yaitu dengan menghitung bilangan *Reynold*, menghitung perbandingan kekasaran permukaan dengan diameter *penstock*, dan kemudian menghitung koefisien friksi (f).

$$h_f = fx \left(\frac{L}{D}\right) x \left(\frac{v^2}{2xg}\right) \tag{2}$$

Nilai kehilangan energi air akibat gesekan dengan dinding penstock tergantung pada panjang pipa, diameter pipa dan kecepatan fluida. Nilai kerugian akibat gesekan pada manifold adalah 0.0495 m

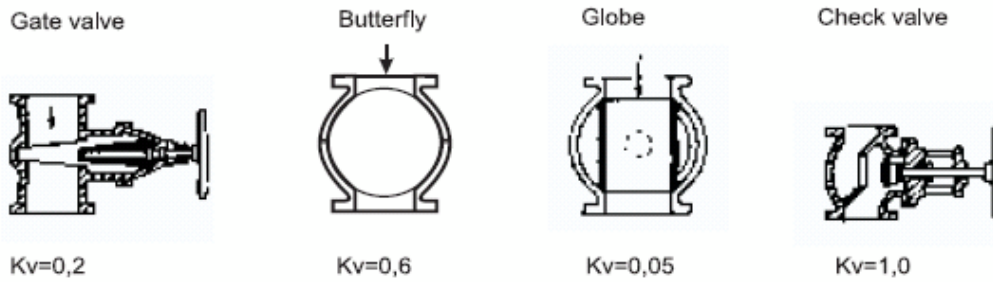
6. Kerugian tikungan di percabangan dua (*Head Loss to bend at the bifurcation*)

Berdasarkan desain manifold, satu unit turbin memiliki 1 tikungan dengan sudut tikungan 45 °. Kehilangan energi di tikungan dihitung seperti menggunakan persamaan 6, mirip dengan persamaan yang digunakan untuk menghitung kerugian di tikungan penstock. Kehilangan energi pada tikungan manifold adalah 0.0583 m

7. Kerugian pada katup penstock (*Head loss of valve*)

Kehilangan energi di katup adalah karena palu air dengan dinding sebagai konsekuensi dari pengurangan bagian aliran. Kehilangan energi di valve dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$hb = K \frac{v^2}{2.g} \tag{7}$$



Gambar 4. Nilai kontefisien Jenis Valve [7]

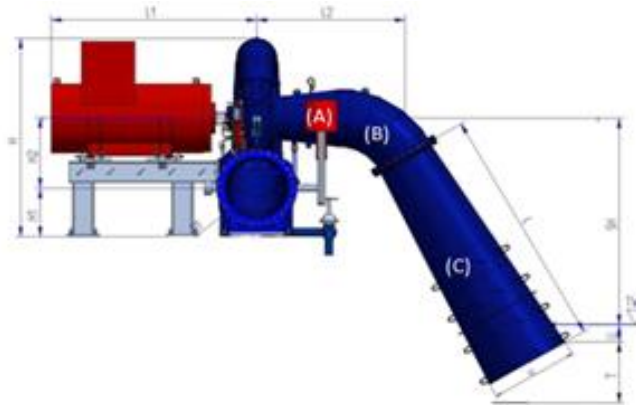
Katup yang digunakan pada perencanaan sistem pembangkit listrik ini pada pipa pesat atau penstock menggunakan jenis *butterfly*. Berdasarkan perhitungan nilai hv didapatkan 0.053m.

8. Kerugian ujung pipa *penstock* masuk ke turbin (*Headloss at Reducer*)

Pada ujung pipa dekat power house, pipa yang masuk turbin mengecil sehingga terjadi kehilangan energi. Reducer digunakan untuk menghubungkan diameter *penstock* yang lebih besar ke spiral casing pada turbin yang memiliki diameter lebih kecil. Diameter *penstock* setelah cabang dua (bifurkasi) 0,6 m terhubung ke diameter spiral casing 0,38 m. Nilai K diperoleh dari grafik kerugian mendadak pada referensi *Layman Book*[7]. Berdasarkan grafik tersebut, diketahui bahwa koefisien kerugian (*Kred*) karena bagian pipa berkurang adalah 0,28000 m. Nilai kerugian pada ujung pipa *penstock* sebesar 0.346m.

9. Kerugian pada *draft tube* (*Head Loss of Draft Tube*)

Draft tube merupakan pipa penstock yang digunakan untuk mengalirkan air dari turbin ke *tailrace*, kerugian head di *drafttube* karena ekspansi saluran dan tikungan.



Gambar 5. Turbin dengan *drafttube* [3]

Perhitungan kerugian pada *drafttube* dirumuskan pada persamaan berikut

$$h_{ex} = K_{ex} g \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} \tag{8}$$

Dengan menggunakan persamaan diatas serta menggunakan grafik koefisien pada buku Layman diperoleh nilai kerugian draft tube sebesar 0.016m. Berdasarkan perhitungan 1-9 diperoleh nilai nilai total kehilangan energi sebesar 2,33 m dari 110,65 m total *head loss*, sehingga diperoleh nilai *net head loss* sebesar 108,2 m. Kerugian yang paling besar adalah kerugian karena adanya gesekan di dalam pipa *penstock*.

Tabel 1. Hasil Perhitungan *Head Loss* Pada Pipa *Penstock*

No	Level Ketinggian	Tinggi Jatuh
1.	Bak Pembawa	739.79 m
2.	Power House	629.14m

3.	Head Loss	110.65m
	• Kerugian Penstock Pada Intake (<i>Entrance Losses</i>)	0.05m
	• Kerugian Karena Gesekan (<i>Friction Losses</i>)	1.626m
	• Kerugian pada tikungan atau belokan penstock (<i>Head loss at the Penstock bend</i>)	0.057m
	• Kerugian pada percabangan penstock (<i>Head loss at the branch</i>)	0.039m
	• Kerugian pada geseran manifold (<i>Head Loss due to Manifold friction</i>)	0.04951m
	• Kerugian tikungan di percabangan dua (<i>Head Loss to bend at the bifurcation</i>)	0.05838m
	• Kerugian pada katup penstock (<i>Head loss of valve</i>)	0.053m
	• Kerugian ujung pipa penstock masuk ke turbin (<i>Headloss at Reducer</i>)	0.346m
	• Kerugian pada draft tube (<i>Head Loss of Draft Tube</i>)	0.016m
4.	Total Head Loss	2.330m
	Net Head Loss	108.3m

Dari perhitungan tersebut diatas, nilai besarnya *headloss* pada pipa *penstock* akibat faktor gesekan, belokan, atau kekasaran sebesar 2 % dari *headloss* bruto, kerugian terbesar akibat adanya gesekan. Daya pada sistem pembangkit juga akan berkurang sebesar 2% akibat adanya *losses* pada pipa *penstock*. Gesekan air didalam pipa dipengaruhi kekasaran material pipa.

KESIMPULAN

Dari perhitungan di peroleh nilai- nilai *head loss* pada pipa *penstock* sebesar 0.05 m (*entrance losses*), 1.626m (*pipe friction losses*), 0.057m (*losses of bends*), 0.039m (*losses of branches*), 0.0495m (*losses of branch pipe to gate valve*), 0.0583m (*losses of bend on branch*), 0.053m (*losses of valve*), 0.346m (*losses of reducer*), 0.016m (*losses of drafttube*), jika dijumlahkan total *head loss* sebesar 2,33m. Sehingga *net head* sebesar *gross head* 110,6m dikurangi 2,33m yaitu sebesar 108,32m. *Headloos* pada pipa *penstock* pada penelitian ini sebesar 2% yang artinya kehilangan energi papa pipa *penstock* tidak begitu signifikan mempengaruhi perolehan daya atau energi yang dibangkitkan oleh sistem PLTMH, namun perhitungan *headloss* pada pipa *penstock* perlu untuk ketelitian dalam merancang sistem PLTMH yang optimal.

REFERENSI

1. BPS of Solok Regency, *Tigo Lurah District in Figure 2014*. BPS of Solok Regency, (2014)
2. H. Sudibyo&A.Susatyo, Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Kabupaten Solok, Sumatera Barat, Seminar Nasional Teknologi Universitas Krisnadwipayana, Jakarta (2018)
3. IEC, *DSF Of Rangkiang MHPP West Sumatera*, PT Indonesian Environment Consultan, Jakarta (2015)
4. M. Barlian, M.Mara, *Perancangan Pipa Pesat dan Daya Keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Air Kokok Putih Desa Bilok Petung Kecamatan Sembalu Kabupaten Lombok Timur*, Dinamika Teknik Mesin, Volume 3, ISSN : 2088-088X (2003)
5. N.Nufaid, *Pengaruh Sudut Pipa Pesat Terhadap Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)*, Proton Vol.1 No.1, (2012)
6. A. Harvey, *Micro-hydro Design Manual : A Guide to Small- Scale Water Power Schemes*, ITGD Publishing, London (1993)
7. C. Penche & Minas, *Layman's Guide Book on How to Develop a Small Hydro Site*, European Small

Hidropower Association, Brussel (1998)

8. Warnick CC, *Hydropower Engineering*, Prentice-Hall. Inc., Englewood Cliffs, New Jersey (1984)