

ANALISIS HEAD LOSSES PADA PENSTOCK UNIT III DI PERUM JASA TIRTA II UNIT JASA PEMBANGKIT PLTA IR. H. DJUANDA

Eko Sulistiyo^{1,a}, Utami Wahyuningsih^{2,b}, M. Arif Rahman Sutisna^{3,c}

^{1,2,3} Jurusan Teknik Mesin STT-PLN, Menara PLN Jl. Lingkar Luar Barat Duri Kosambi Cengkareng Jakarta Barat Indonesia, 11750

^a ekosalma123@yahoo.com ; ^b wahyuningsih_utami@yahoo.com ; ^c m.arif.rahman.sutisna@gmail.com

Abstract

One of the power plants in the labor system is hydropower, which is a power plant by utilizing water resources as its working fluid. In the operation of the hydropower requires high reliability so that the energy production continuity to the load center or to the power system network can be more optimum. One of the components in the hydropower plant is penstock. Closed pipeline, whether it is laminar or turbulent, must have head losses. Head losses on penstock is a phenomenon of losses on the penstock so as to make the head value on the hydropower becomes reduced. At Penstock unit III PLTA Ir. H. Djuanda there are two phenomenon of head losses, namely: head losses major caused by friction penstock against water and minor head losses in the form of bend 90° with radius 4.375 m and 11.3 m from the axis penstock. Temperature changes affect the size of head losses, but they do not significantly affect penstock efficiency. At a temperature of 240C and a flow rate of 5m / s obtained a total head losses of 0606 m so as to make the potential of turbine inlet power down to 31,247 MW or 99.21%.

Keyword: Penstock, Head Losses Major, Head Losses Minor, Penstock Efficiency

I. Pendahuluan

Energi listrik merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Dengan semakin berkembang teknologi maka kebutuhan energi listrik akan meningkat. Namun, pemerintah Indonesia belum bisa memenuhi kebutuhan listrik Indonesia. Pada tahun 2015 rasio elektrifikasi di Indonesia pada desa sebesar 96,94%, sedangkan pada rumah tangga sebesar 88,30%, tercatat masih terdapat masyarakat yang belum menikmati listrik. Sehingga pemerintah Indonesia melalui Badan Usaha Milik Negara (BUMN) di bidang ketenaga listrik terus melakukan pembangunan pembangkit listrik guna memenuhi kebutuhan listrik di Indonesia [1].

Energi listrik dapat dihasilkan dari beberapa energi yang diubah atau dikonversikan menjadi energi listrik dengan melalui beberapa proses. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) memproduksi listrik yang dihasilkan dari mengkonversi energi potensial air. Energi potensial air ini digunakan untuk menggerakkan turbin yang kemudian turbin tersebut terhubung dengan generator, yang kemudian dengan beberapa proses yang terjadi, generator yang

berputar menghasilkan energi listrik. Tercatat pada tahun 2015 kapasitas yang terpasang Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Nasional di Indonesia sebesar 5.079,06 MW dengan persentase 9,15% dari Pembangkit Tenaga Listrik yang terpasang secara Nasional [1].

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) memiliki keunggulan dibandingkan pembangkit listrik dengan menggunakan sumber energi lain. PLTA memanfaatkan energi air sebagai energi utama untuk menghasilkan listrik. Sehingga, PLTA merupakan pembangkit listrik dengan mengeluarkan biaya yang murah dibandingkan dengan menggunakan energi lainnya yang harus mengeluarkan biaya yang tinggi untuk menghasilkan listrik.

Di Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Ir. H. Djuanda menggunakan turbin Francis sebanyak 6 unit dengan kapasitas daya mampu masing-masing sebesar 32.3 MW dapat memproduksi listrik rata-rata dalam setahun sebesar 900 juta kWh. Peran PLTA Ir. H. Djuanda memproduksi listrik di seluruh Indonesia sebesar 0,51%.

Di sebuah PLTA dibutuhkan sistem pemipaan. Sistem pemipaan adalah sistem yang

digunakan untuk memindahkan fluida (baik cair maupun gas) dari suatu tempat ke tempat lain. Di Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Ir. H. Djuanda, digunakan 6 unit penstock (sistem pemipaan) yang dibuat dari plat baja AQ UNI 815 dengan tebal 20mm yang terletak di dalam dinding beton yang berfungsi untuk mengalirkan air dari waduk melalui pintu pengambilan ke turbin.

Di dalam sebuah sistem pemipaan pasti akan terjadi head losses (kerugian akibat adanya gesekan), adapun faktor yang mempengaruhi kerugian aliran fluida di dalam pipa adalah kecepatan aliran, luas penampang (pipa), friction factor, viskositas dan massa jenis fluida. Selain itu juga head losses akan berdampak pada daya turbin yang menurun.

Berdasarkan obeservasi ketika magang di Unit Jasa Pembangkitan PLTA Ir. H. Djuanda, maka penulis mendapatkan bahasan skripsi dengan judul “**Analisis Head Losses Pada Penstock Unit 1 Di Perum Jasa Tirta II Unit Jasa Pembangkitan PLTA Ir. H. Djuanda**”. Alasan dipilihnya judul tersebut yaitu untuk mengetahui penyebab dan besar head losses pada penstock unit 1 di PLTA Ir. H. Djuanda yang berdampak turunnya daya turbin.

2.1. Pengertian PLTA

Pembangkit listrik tenaga air adalah suatu pembangkit yang menggunakan media air sebagai penggerak utama (*prime mover*) untuk menggerakkan turbin. Pembangkit ini secara umum mengkonversi bentuk perubahan dari tenaga air dengan ketinggian dan debit menjadi energi listrik dengan proses tertentu dan menggunakan komponen utama seperti waduk, turbin air, generator dan tranformator tenaga.

Mekanisme kerja PLTA bermula dengan urutan dari aliran sungai dengan sejumlah anak sungainya dibendung dengan sebuah Dam. Airnya ditampung dalam waduk yang kemudian dialirkan melalui Pintu Pengambilan Air (*Intake Gate*) yang selanjutnya masuk ke dalam Terowongan Tekan (*Headrace Tunnel*). Sebelum memasuki Pipa Pesat (*Penstock*), air harus melewati Tangki Pendatar (*Surge Tank*) yang berfungsi untuk mengamankan pipa pesat apabila terjadi tekanan kejut atau tekanan mendadak yang biasa disebut sebagai pukulan air (*water hammer*) saat Katup Utama (*Inlet Valve*) ditutup seketika. Setelah Katup Utama dibuka, aliran air memasuki Rumah Keong (*Spiral Case*). Aliran air yang bergerak memutar Turbin dan dari turbin, air mengalir keluar

melalui Pipa Lepas (*Draft Tube*) dan selanjutnya dibuang ke Saluran Pembuangan (*Tail Race*). Poros turbin yang berputar tersebut dikopel dengan poros Generator sehingga menghasilkan energi listrik.

Melalui Trafo Utama (*Main Transformer*), energi listrik disalurkan melewati Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150kV dan 70 kV ke konsumen melalui Gardu Induk.

2.2 Kecepatan Aliran Fluida

Karena adanya perbedaan diameter pada setiap pipa pesat maka kecepatan aliran yang terjadi berbeda-beda sesuai dengan adanya perubahan diameter tersebut. Dibawah ini nilai kecepatan aliran air akibat beda diameter^[4]:

$$Q = A \times V$$

Maka :

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

Dimana :

Q = Debit Air (m³/s)

V = Kecepatan Aliran Fluida (m/s)

A = Luas Penampang Pipa (m²)

2.3 Bilangan Reynold

Fungsi dari bilangan *Reynold* itu sendiri adalah untuk mengetahui jenis suatu aliran fluida yang ada di dalam pipa. Dibawah ini merupakan batasan nilai/harga bilangan *Reynold* untuk aliran *internal flow* dan disertai dengan jenis alirannya^[6]:

Re < 2300 maka alirannya adalah laminar

2300 < Re < 4000 maka alirannya adalah transisi

Re > 4000 maka alirannya adalah turbulen

Adapun persamaan untuk mendapatkan bilangan *Reynold* itu sendiri adalah :

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

Dimana :

Re = Bilangan Reynold

ρ = Massa Jenis Fluida (kg/m³)

V = Kecepatan Aliran Fluida (m/s) D = Diameter Pipa (m)

μ = Viskositas Dinamik (N.s/m²)

2.4 Nilai Darcy Friction Factor (f)

Setelah melakukan perhitungan bilangan *Reynold*, maka dapat dicari harga *Darcy Friction Factor* (f), dengan cara menggunakan diagram *Moody* atau bisa menggunakan *moody*

calculator yang akan . Faktor ini merupakan faktor gesekan pipa. Semakin pipa kasar, maka kemungkinan turbulenta akan semakin besar.

2.5 Head Losses Pada Penstock

Dalam perhitungan *head losses* ini perlu diperhatikan beberapa faktor, karena dalam perhitungan *head losses* ini akan mempengaruhi daya yang akan dihasilkan oleh turbin. Dibawah ini merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung *head* pada turbin :

$$HT = \text{Headstatic} - \text{Headlosses (m)} \quad (11)$$

Keterangan :

Head static merupakan tinggi air jatuh dengan satuan meter (m), yaitu dihitung dari permukaan air atas sampai permukaan air bawahnya.

Head losses merupakan rugi-rugi energi yang diakibatkan dari sistem pipa-pipa yang terpasang dengan satuan meter (m).

Pada *head losses* ini terdapat dua jenis, yaitu *head losses major* dan *head losses minor*. *Head losses* itu sendiri merupakan penjumlahan dari *head losses major* dan *head losses minor*, seperti pada persamaan :

$$Ht = HL \text{ Major} + HL \text{ Minor} \quad (12)$$

Dimana :

Ht = *Head Losses Total* (m)

HL Major = *Head Losses Major* (m)

HL Minor = *Head Losses Minor* (m)

Head Losses Major, yaitu rugi- rugi energi yang diakibatkan dari gesekan fluida terhadap kekasaran permukaan bahan pipanya. Rumusan untuk menghitung *Head Losses Major* tersebut adalah ^[4]:

$$HL.Major = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (13)$$

Dimana :

HL.Major = *Head Losses Major* (m)

f = Koefisien gesekan

L = Panjang pipa (m)

D = Diameter pipa (m)

V = Kecepatan rata-rata fluida (m/s)

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

Head Losses Minor, yaitu rugi-rugi energi yang diakibatkan karena terdapat belokan-belokan atau sambungan-sambungan pada sistem perpipaannya. Dengan persamaan rumus Fuller

untuk menghitung koefisien gesekan belokan adalah ^[6]:

$$K = [0.131 + 1.847 \left(\frac{D}{2R}\right)^{3.5}] \left(\frac{V}{90}\right)^{0.5} \quad (14)$$

Kemudian untuk mengetahui *head losses* minor menggunakan persamaan dibawah ini ^[6]:

$$HL.Minor = K \frac{V^2}{2.g} \quad (15)$$

Dimana ;

HL.Minor = *Head Losses Minor* (m)

K = Nilai koefisien gesekan dari belokan atau sambungan

f = Koefisien gesekan

Le = Panjang ekivalen pipa(m)

D = Diameter pipa (m)

V = Kecepatan rata-rata fluida (m/s) =

Percepatan gravitasi (m/s²)

2.6 Mencari Efisiensi Penstock

Untuk mencari efisiensi penstock diperlukan perhitungan sebagai berikut:

Daya Hidrolis Air

Daya hidrolis air adalah daya air yang mampu air ciptakan tanpa dikurangi kerugian-kerugian (*Head Losses*) pada penstock. Persamaan daya hidrolis air sebagai berikut:

$$PH = \rho \times g \times Q \times H \quad (16)$$

Dimana :

PH = Daya hidrolis air (watt)

P = Massa jenis air (kg/m³)

g = Percepatan gravitasi (m/s²) Q = Debit air yang masuk (m³/s)

H = Tinggi jatuh air (elevasi) (m)

Daya Losses Penstock

Daya losses penstock adalah jumlah potensi daya yang hilang karena kerugian-kerugian (*Head Losses*). Dengan persamaan sebagai berikut:

$$PL = \rho \times g \times Q \times HT \quad (17)$$

Dimana:

PL = Daya losses penstock (watt)

ρ = Massa jenis air (kg/m³)

g = Percepatan gravitasi (m/s²) Q = Debit air yang masuk (m³/s) HT = Head losses total penstock (m)

Daya Masuk Turbin

Daya masuk turbin adalah potensi daya yang dapat dihasilkan dari penstock setelah dikurangi kerugian-kerugian (*Head Losses*). Dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_T = P_H - P_L \tag{18}$$

Dimana:

P_T = Daya masuk turbin (watt)

P_H = Daya hidrolis air (watt)

P_L = Daya losses penstock (watt)

Efisiensi Penstock

Setelah tiga perhitungan (Daya Hidrolis Air, Daya Losses Penstock, Daya Masuk Turbin) didapat, maka dapat dihitung efisiensi penstock dengan persamaan sebagai berikut:

$$\eta_p = \frac{P_T}{P_H} \times 100\%$$

Dimana:

η_p = Efisiensi penstock

P_T = Daya masuk turbin (MegaWatt)

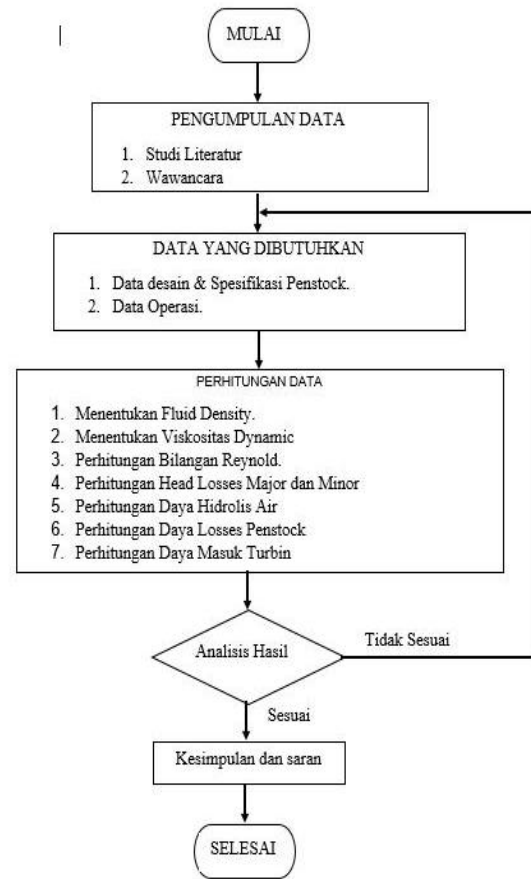
P_H = Daya hidrolis air (MegaWatt)

III. Metodologi Penelitian

Metode penelitian ini sangat membantu penulis dalam melakukan penyusunan skripsi. Karena penulis dapat melakukan penelitian dengan benar karena sudah terdapat langkah-langkah yang akan digunakan dalam melaksanakan penelitian. Dalam skripsi ini penulis menggunakan metode deskriptif dimana metode ini biasa digunakan dalam penulisan skripsi fakultas teknik. Dimana metode deskriptif yang digunakan penulis memiliki tujuan untuk melakukan analisis dan perhitungan head losses pada penstock, karena dalam skripsi ini penulis memiliki judul “**Analisis Head Losses Pada Penstock Unit III Di Perum Jasa Tirta II Unit Jasa Pembangkitan PLTA Ir. H. Djuanda**” yang dilakukan Di Perum Jasa Tirta II Unit Jasa Pembangkitan PLTA Ir. H. Djuanda.

Penelitian dilakukan selama 3 bulan (4 September 2017 – 4 September 2017). Lokasi penelitian dilakukan di Unit 2 PLTGU yang terletak di Kecamatan Jatiluhur, Kabupaten Purwakarta, Provinsi Jawa Barat (±9 km dari pusat Kota Purwakarta).

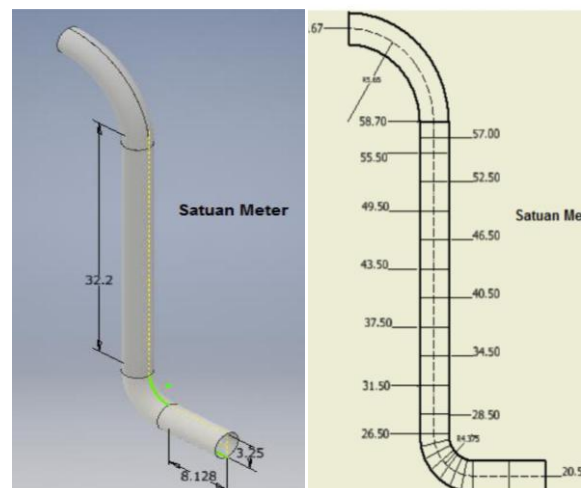
Untuk mempermudah pemahaman yang dilakukan penelitian, maka di gunakan flow chart sebagai berikut :



IV. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Perhitungan

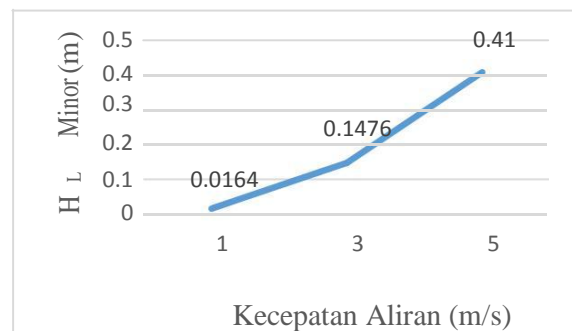
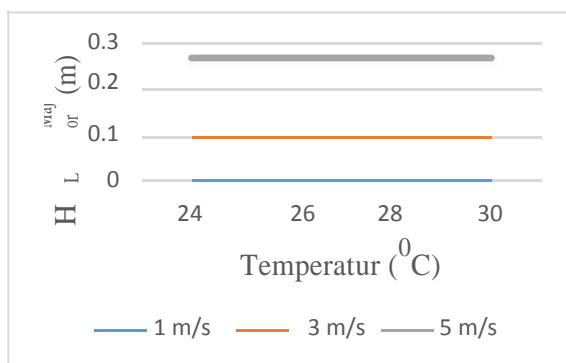
Berikut merupakan gambar penstock pada PLTA Ir. H. Djuanda



Effisiensi penstock unit III PLTA Ir. H. Djuanda:

T (°C)	V (m/s)	HL major (m)	HL Minor (m)	H _t (m)	P _H (MW)	P _T (MW)	η _p (%)
24	1	0.01141	0.009618	0.024692	6.2495	6.2475	99.96793
26	1	0.01139	0.009618	0.024672	6.2463	6.2443	99.96795
28	1	0.01137	0.009618	0.024662	6.2429	6.2409	99.96797
30	1	0.01134	0.009618	0.024632	6.2393	6.2373	99.96801
24	3	0.09809	0.086559	0.217945	18.7484	18.6953	99.71695
26	3	0.09790	0.086559	0.217885	18.7388	18.6858	99.71703
28	3	0.09791	0.086559	0.217815	18.7287	18.6757	99.71712
30	3	0.09781	0.086559	0.217745	18.7178	18.6649	99.21321
24	5	0.26942	0.240443	0.60583	31.2474	31.0015	99.213207
26	5	0.26916	0.240443	0.60564	31.2314	30.9858	99.21345
28	5	0.26911	0.240443	0.6056	31.2145	30.969	99.21351
30	5	0.26891	0.240443	0.60546	31.1963	30.951	99.21369

4.2 Analisis Data

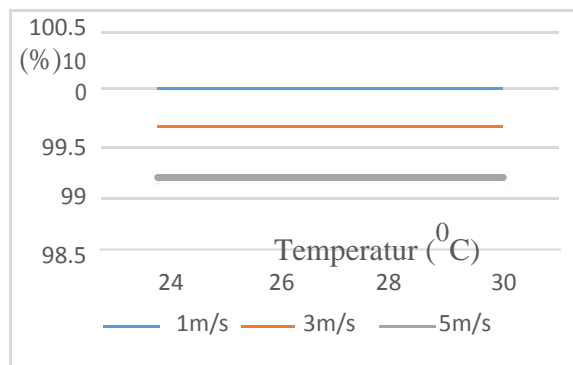


Pada grafik diatas menunjukkan pengaruh temperatur air dan kecepatan aliran air terhadap *head losses* major. Pada kecepatan aliran yang tetap, semakin tinggi temperatur air maka ada penurunan *head losses* major yang tidak terlalu besar dengan rata-rata penurunan sebesar 0.00002m-0.00007m. Pada temperatur air yang sama, semakin tinggi kecepatan aliran maka semakin besar *head losses* major cukup signifikan. Hal ini karena berdasarkan tabel 4.9 semakin tinggi temperatur air juga kecepatan aliran air, maka semakin kecil *darcy fiction factor*.

Besar *head losses* major berbanding lurus dengan nilai *darcy fiction factor* dan pangkat kuadrat terhadap kecepatan aliran.

Berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan berapapun temperatur air tidak mempengaruhi besarnya *head losses* minor. *Head losses* minor dipengaruhi oleh kecepatan aliran air. Semakin tinggi kecepatan aliran air maka semakin tinggi *head losses* minor.

Head losses total merupakan hasil jumlah dari *head losses* major dengan *head losses* minor. *Head losses* terbesar terjadi saat kecepatan aliran 5m/s dan temperature air 24°C dengan nilai *head losses* total sebesar 0.60546 m. Semakin tinggi temperatur air pada kecepatan yang sama, maka semakin kecil *head* total. Semakin tinggi kecepatan aliran air, maka semakin besar *head* total. *Head losses* total mengurangi potensi daya air yang masuk ke penstock.



Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kecepatan aliran air pada penstock, maka semakin kecil efisiensi penstock. Namun perbedaan temperatur air hanya berpengaruh sangat kecil terhadap efisiensi penstock.

V. Kesimpulan Dan Saran

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan pembahasan dan melakukan analisa terhadap data hasil perhitungan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada penstock unit III PLTA Ir. H. Djuanda terdapat 2 macam *head losses*, yaitu: *head losses* major yang disebabkan oleh faktor gesekan dari bahan pipa dengan air yang mengalir pada penstock dan *head losses* minor berupa dua buah belokan 90^0 dengan jari-jari 4.375 m dari sumbu penstock dan belokan 90^0 dengan jari-jari 11.3 m dari sumbu penstock. Temperatur dan kecepatan aliran air pada penstock mempengaruhi besarnya *head losses*. Semakin tinggi temperatur air dengan kecepatan aliran yang sama, maka *head losses* semakin kecil. Pada kecepatan aliran 1 m/s dan temperatur 24^0C ; 30^0C didapat *head losses* sebesar: 0.024692 m ; 0.024672 m. Semakin tinggi kecepatan aliran dengan temperatur air yang sama, maka semakin besar *head losses*. Pada temperatur air 24^0C dan kecepatan aliran air 1 m/s ; 5m/s didapat *head losses* sebesar: 0.024692 m ; 0.60583 m.
2. Semakin besar kecepatan aliran air pada penstock, maka semakin kecil efisiensi penstock. Terbukti Efisiensi penstock terkecil didapat pada kondisi kecepatan aliran 5m/s sebesar 99.21368% dan efisiensi penstock terbesar pada kondisi aliran 1m/s sebesar 99.9679%. Keadaan

temperatur air tidak mempengaruhi secara signifikan terhadap efisiensi penstock. Terbukti bahwa *head losses* pada penstock mengurangi daya masuk turbin menjadi 99.21368%.

3. Besarnya efisiensi penstock unit III PLTA Ir. H. Djuanda memiliki nilai yang cukup besar, sehingga bisa memaksimalkan potensi air pada waduk PLTA Ir. J. Djuanda.

5.2 Saran

Penulis membuat beberapa saran agar efisiensi penstock unit III PLTA Ir. H. Djuanda dapat dipertahankan, yaitu:

1. Selalu tetap menjaga cat pelindung Bitusealac setebal 700 mikron dengan cara: selalu mengganti cat pelindung selama lima tahun sekali sesuai dengan pedoman pemeliharaan PLTA Ir. H. Djuanda, juga tidak mengoperasikan PLTA Melebihi kecepatan aliran maksimum sesuai dengan ketahanan cat pelindung sebesar 5m/s. Hal ini dilakukan untuk menjaga nilai relatif roughness dari bahan penstock.
2. Selalu membersihkan dan merawat filter pada intake untuk mengurangi kemungkinan masuknya benda asing ke dalam penstock yang akan merusak permukaan dalam penstock dan mengurangi efisiensi penstock.

Referensi

- [1] Statistik Ketenagalistrikan Direktorat Jenderal Kelistrikan Kementerian ESDM Edisi No.29 Tahun Anggaran 2016.
- [2] Kadir, Abdul. 2010. Pembangkit Tenaga Listrik (Edisi Revisi). Jakarta: UI Press.
- [3] Administrator. 2017. *eProfil Perusahaan PERUM Jasa Tirta II*. Diakses pada tanggal 14 September 2017 dari <http://jasatirta2.co.id/sejarah>
- [4] Munson R. Bruce, Young F. Donald, Theodore. Okiishi. 2005. Mekanika Fluida Edisi Keempat .Jakarta : Erlangga. White, Frank M. 2003. Fluid Mechanics fifth edition. Bangkok: WCB MCGraw-Hill.
- [5] Sularso dan Tahara, H., 2006, Pompa dan Kompresor, Pemilihan, Pemakaian, dan Pemeliharaan, PT Pradnya Paramita, Jakarta.

- [6] Ramadhan, Irfan Muhammad dan Syuriadi, Adi. 2016. “Analisa Faktor Head Losses Penstock Terhadap Daya Yang Dihasilkan Di PLTA Saguling”.
- [7] Manumpak, Richard dan Warman, Eddy. 2013. “Perancangan Instalasi Aliran Air PLTA Renun Guna Peningkatan Daya Keluaran Generator Sinkron”.
- [8] Djuanda Pedoman Operasi Dan Pemeliharaan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Jilid 2. Purwakarta. 2002
- [9] CRC Handbook of Chemistry and Physics, 84th edition, 2003-2004
- [10] www.engineeringtoolbox.com