

Analisis Perancangan Penstock PLTMH di Eremerasa Kabupaten Bantaeng Dengan Menggunakan ANSYS

Suryanto^{1*}, Apollo², Muhammad Julham Hamzah³, Titiek Israwati⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia

* suryanto@poliupg.ac.id

Abstract: *Penstock acts as a distributor of fluid flow between the tank and the turbine. The aims of this study are to determine the characteristics of the pressure and the water velocity and flow pattern that occurs in the penstock and to determine the efficiency of hydraulic optimum turbine with design power 40 kW. Characteristics are analyzed by simulation using Ansys fluent software. The simulation results assist in the design process and design of water turbines penstock accurately and shorten the time. Based on the simulation results in the penstock, the pressure varies on along the penstock and maximum occur on the inlet side (33652 Pa) and then gradually drops along the pipeline and reach the minimum conditions on the outlet side (2651 Pa). Characteristics of the fluid velocity tends to be constant from the inlet side to the outlet side (2,46 m/s), but there are fluctuations in flow velocity in the bend of 10° and 45°. The pattern of the flow of water along the penstock pipe turbulent, especially in connection with angle bends 45° and 10°. Angle turn follow the existing topography. Additionally, it obtained maximum turbine power of 50,617 kW with hydraulic efficiency of 68.93% and the effective height of the turbine is equal to 17,234 m and a discharge of 0,3 m³/s.*

Keywords: *penstock; ansys fluent; fluid flow characteristic*

Abstrak: Penstock berperan sebagai penyalur aliran fluida antara bak penampungan dan turbin. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik tekanan dan kecepatan air dan pola aliran yang terjadi di dalam *penstock* serta untuk mengetahui efisiensi hidrolis optimum turbin dengan daya desain 40 kW. Karakteristik dianalisis dengan metode simulasi menggunakan *software* Ansys fluent. Hasil simulasi membantu dalam proses desain *penstock* dan perancangan turbin air secara akurat dan mempersingkat waktu. Berdasarkan hasil simulasi pada *penstock*, tekanan bervariasi pada sepanjang *penstock* dan maksimum terjadi pada sisi inlet (33652 Pa) kemudian secara bertahap turun sepanjang pipa dan mencapai kondisi minimum pada sisi outlet (2651 Pa). Karakteristik kecepatan fluida cenderung konstant mulai dari sisi inlet sampai sisi outlet (2,46 m/s), namun terjadi fluktuasi kecepatan aliran pada belokan 10° dan 45°. Adapun pola aliran air sepanjang *penstock* bergolak khususnya pada sambungan pipa dengan sudut belokan 45° dan 10°. Sudut belokan mengikuti kondisi topografi yang ada. Selain itu diperoleh daya turbin maksimum sebesar 50,618 kW dengan efisiensi hidrolis sebesar 68,93 % dan tinggi efektif turbin adalah sebesar 17,234 m dan debit 0,3 m³/s.

Kata kunci : *penstock, Ansys fluent, karakteristik aliran fluida.*

I. PENDAHULUAN

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro adalah pembangkit listrik skala kecil yang memanfaatkan tenaga air sebagai tenaga penggerak, seperti saluran irigasi, air terjun dan sungai. Salah satu sungai di Kabupaten Bantaeng yang berpotensi untuk dijadikan sumber energi pembangkit listrik tenaga air skala mikro adalah sungai Eremerasa yang terletak di Desa Kampala. Kapasitas daya dengan besar debit tersebut dapat memenuhi kebutuhan penerangan bagi masyarakat Desa Kampala khususnya pada malam hari. Pada malam hari, besarnya kebutuhan daya listrik di desa tersebut masih kurang terpenuhi oleh pasokan listrik dari PT. PLN.

Perancangan *penstock* PLTMH di Desa Kampala menggunakan software ANSYS. Software ini merupakan program paket yang dapat memodelkan elemen hingga untuk menyelesaikan masalah yang berhubungan dengan mekanik, termasuk di dalamnya masalah statika, dinamika, analisis structural

(baik linear, maupun non linear), masalah perpindahan panas, masalah fluida dan juga masalah yang berhubungan dengan akustik dan elektromagnetik [1]. Ansys dapat melakukan perancangan *penstock* dengan mudah dan tidak memerlukan waktu yang lama serta biaya yang mahal. Selain itu, dapat mengetahui lebih jelas apa yang terjadi di dalam *penstock*. Tujuan peneliti untuk melakukan Analisis Perancangan *penstock* PLTMH di Eremerasa Kabupaten Bantaeng dengan menggunakan Ansys untuk melakukan simulasi-simulasi yang terjadi sebelum melakukan perancangan secara nyata.

A. Prinsip Kerja PLTMH

PLTMH pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah air yang jatuh (debit) perdetik yang ada pada saluran air terjun. Energi ini selanjutnya menggerakkan turbin, kemudian turbin kita hubungkan dengan generator untuk menghasilkan listrik. Selanjutnya listrik yang dihasilkan oleh generator ini dialirkan ke rumah-rumah dengan memasang pengaman (sekring). Hal yang perlu diperhatikan dalam merancang sebuah PLTMH adalah menyesuaikan antara debit air yang tersedia dengan besarnya generator yang digunakan. Jangan sampai generator yang dipakai terlalu besar atau terlalu kecil dari debit air yang ada [2].

B. Pengertian Penstock

Penstock merupakan media pengaliran air dari bak penenang ke turbin dalam debit yang stabil. Besarnya ukuran *penstock* tergantung pada debit aliran yang dibutuhkan untuk menggerakkan turbin. Pada umumnya *penstock* terbuat dari pipa baja atau palaron (PVC) dengan diameter tertentu[3].

C. Perancangan Penstock.

- 1) Kecepatan aliran dalam pipa *penstock* [4].

$$V = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2} \dots\dots\dots (1)$$

- 2) Bilangan Reynold (Subekti & Anjar, 2009)

$$Re = \frac{\rho \times V \times D}{\mu} \dots\dots\dots (2)$$

- 3) Intesitas Turbulensi (Tuakia, 2008)

$$I = 0,16 \times (Re)^{\left(-\frac{1}{8}\right)} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

- 4) Diameter *Penstock*

$$D = 0,72 \times Q^{0.5} \dots\dots\dots (4)$$

- 5) h wall loss (rugi - rugi mayor)

$$h_{wall\ loss} = \frac{f \times L_p \times 0,0 \times Q^2}{d^5} \dots\dots\dots (6)$$

- 6) h turb loss (rugi - rugi minor)

$$h_{turb\ loss} = \frac{(v_a - v_p)^2}{2} \times K_b \dots\dots\dots (7)$$

D. Analisis Turbin

- 1) Kecepatan putaran diameter luar (U₁)

$$U_1 = V_1 - W_1 \dots\dots\dots (8)$$

- 2) Kecepatan putaran (U₂)

$$U_2 = \frac{\pi \times n \times D_2}{6} \dots\dots\dots (9)$$

- 3) Kecepatan tangensial

$$W_1 = \frac{V_1 \times \alpha_1}{2} \dots\dots\dots (10)$$

- 4) Daya Turbin (Sammartano, 2013)

$$P_h = \rho \cdot Q[(V_1 \cdot U_1 - V_2 \cdot U_2) + (V_3 \cdot U_3 - V_4 \cdot U_4)] \dots\dots\dots (11)$$

- 5) Efisiensi hidrolis

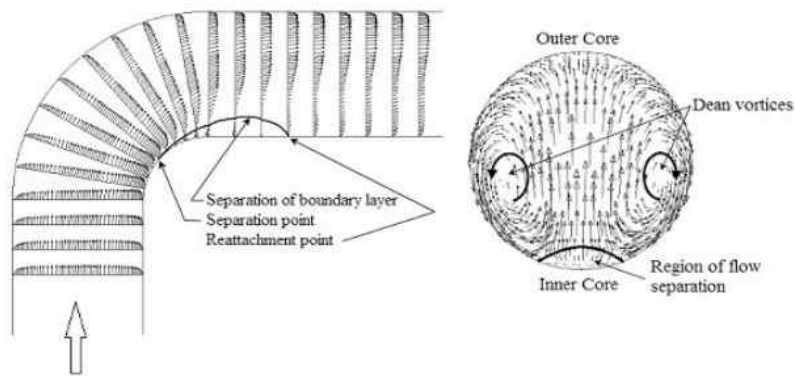
18 Suryanto, Apollo, Muhammad Julham Hamzah, Titiek Israwati. Analisis Perancangan Penstock PLTMH di Eremerasa Kabupaten Bantaeng Dengan Menggunakan ANSYS

$$\eta_i = \frac{P_h}{P_{i1}} \dots \dots \dots (12)$$

6) Putaran pada tubin [4]

$$n = \frac{4 \sqrt{h}}{D} \dots \dots \dots (13)$$

E. Permodelan simulasi Ansys



Gambar 1. Level kontur hasil data simulasi pada saluran masuk penstock [5].

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan analisis perancangan penstock PLTMH yang bertempat di Desa Kampala, Kecamatan Eremerasa, Kabupaten Bantaeng dengan menggunakan Ansys. Pengambilan data ini dilakukan di sungai dan dilaksanakan selama ± 3 bulan terhitung dari bulan Maret sampai Mei 2016.

A. Teknik Pengumpulan Data

Cara yang digunakan dalam pengambilan data pada penelitian ini adalah:

1. Teknik Observasi (*Field Research*)

Penulis melakukan penelitian secara langsung terhadap obyek penelitian untuk memperoleh data-data yang akan diperlukan dalam penulisan skripsi.

2. Studi Literatur

Penulis mengumpulkan data-data dengan membaca dan mempelajari berbagai literatur-literatur yang ada sesuai dengan masalah yang diteliti.

3. Wawancara (*Interview*)

Salah satu teknik pengumpulan data yang dilakukan oleh peneliti untuk memperoleh informasi tentang kondisi debit di eremerasa dengan bertanya langsung pada pengelola PDAM.

B. Metode Analisis Data

Adapun penelitian yang dilakukan adalah dengan cara pengumpulan data-data lapangan yang meliputi debit aliran, tinggi jatuh air dan panjang penstock. Kemudian memakai software Ansys untuk perancangan penstock yang sesuai dengan data yang ada, selanjutnya menghitung analisa data dengan

menggunakan rumus-rumus yang telah ditentukan untuk mendapatkan hasil dari perhitungan analisa data sehingga, mendapatkan grafik hubungan antara kecepatan, tekanan dengan panjang *penstock* dan efisiensi hidrolis dengan rasio turbin.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Simulasi dan analisa aliran fluida pada *penstock*

a. Parameter Simulasi *penstock*

Kerapatan air (densitas), $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$
 Viskositas, $\mu = 0,001003 \text{ Pa.s}$
 Kondisi gravitasi, $g = -9,81 \text{ m/s}^2$ terhadap sumbu y

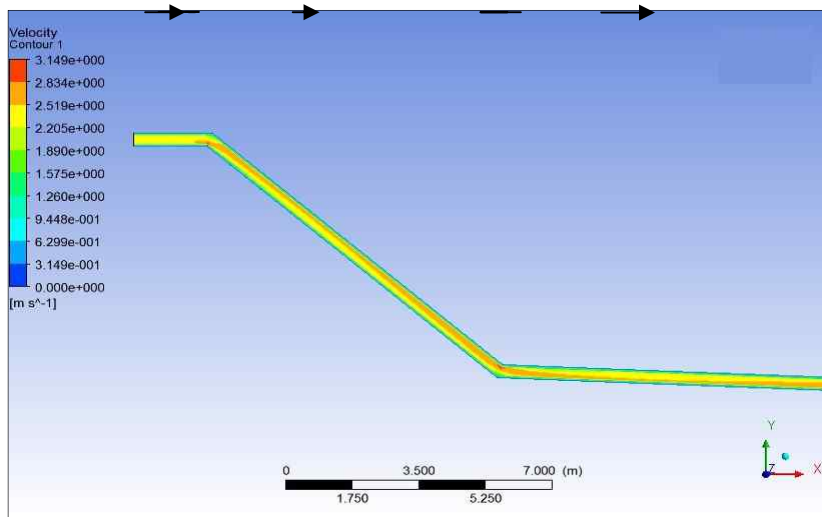
Tabel 1. Parameter kondisi batas simulasi *penstock*

Kondisi Batas	Nama domain	Nilai Input
Inlet	Inlet_velocity	2,46 m/s
Inlet	Inlet_velocity (gauge)	0 Pa
Outlet	Outlet_pressure (gauge)	0 Pa
Dinding	Wall	-
Intesitas reynold	Inlet & Outlet	2,85 %

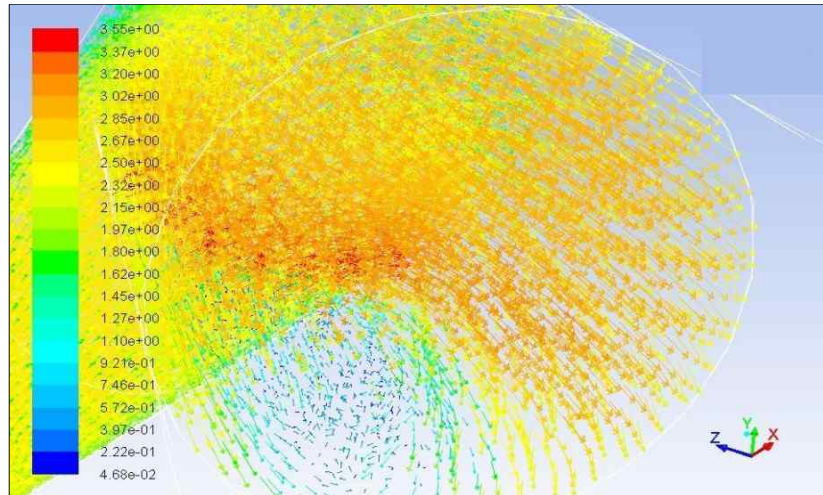
Tabel 2. Hasil simulasi sisi inlet dan sisi outlet.

Kecepatan akhir sisi outlet	2,46 m/s
Tekanan Total Inlet	33652 Pa
Tekanan Total Outlet	2651 Pa

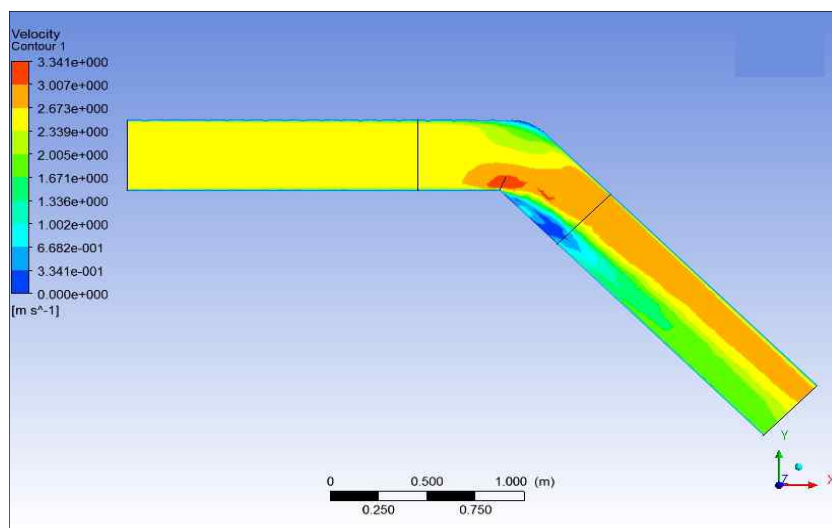
b. Hasil Simulasi *penstock*



Gambar 1. Level kontur hasil data simulasi pada saluran masuk *penstock*



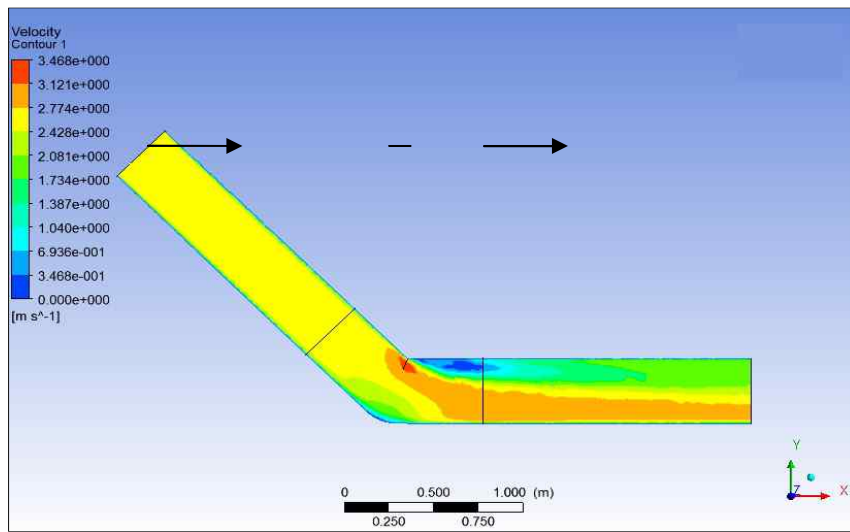
Gambar 2. Garis vektor pembentukan pola aliran pada sambungan 45°



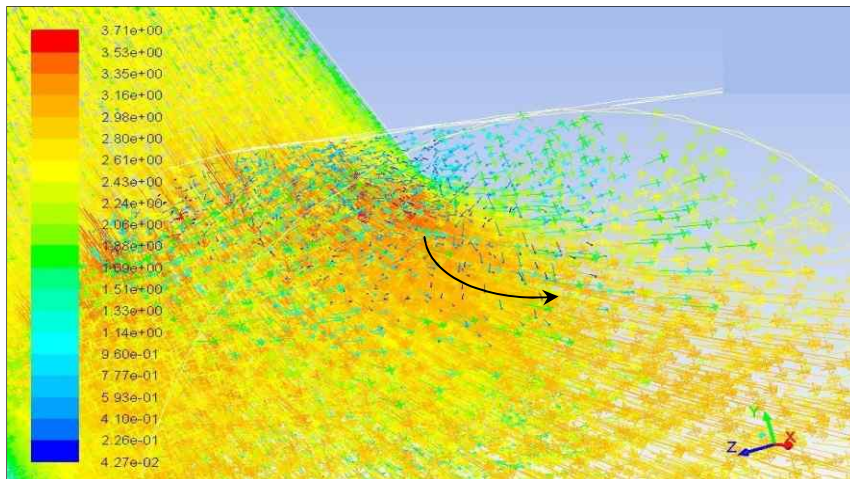
Gambar 3. Level Kontur Pada Sambungan Atas Pipa 45° pada point 1

Hasil-hasil simulasi *penstock* menggunakan Ansys dapat dilihat pada Gambar 1 sampai Gambar 6. Mulai dari level kontur saluran masuk *penstock*, garis vektor pembentukan pola aliran pada sambungan 45 pada point 1, level kontur pada sambungan atas Pipa 45° pada point 1, level kontur pada sambungan bawah Pipa 45° pada point 2, garis vektor pembentukan pola aliran pada sambungan 45° pada point 2, dan level kontur pada sisi outlet

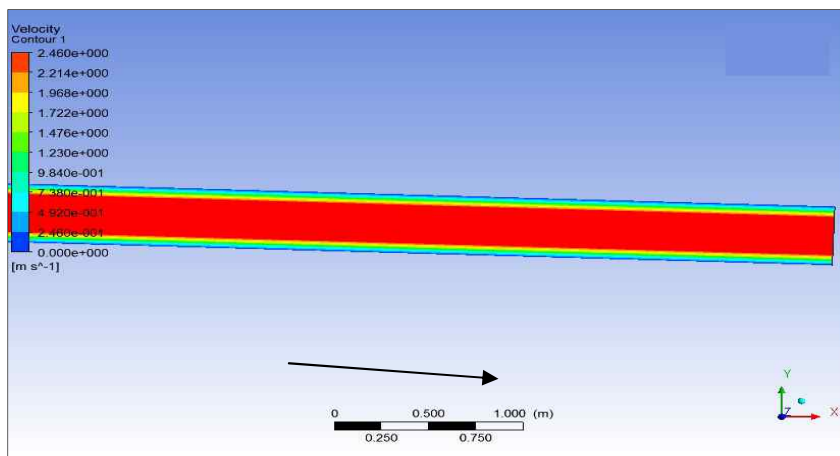
Warna yang terdapat pada Ansys menunjukkan tingkat kecepatan, untuk level warna merah menunjukkan kecepatan tinggi dikarenakan hambatan pada titik bending pipa sehingga efek water hammer terjadi. Warna kuning menunjukkan aktivitas kecepatan normal. Warna biru menunjukkan kecepatan rendah hasil dari aliran vortex. Aliran vortex muncul diakibatkan karena intensitas turbulensi yang mempengaruhi bentuk aliran menjadi tidak seragam. Hal ini dipengaruhi oleh hubungan aliran kecepatan yang besar ditambah pengaruh gradien tekanan.



Gambar 4. Level Kontur Pada Sambungan bawah Pipa 45° pada point 2



Gambar 5. Garis vektor pembentukan pola aliran pada sambungan 45° pada point 2



Gambar 6. Level kontur pada sisi outlet.

B. Analisis rugi-rugi pada penstock

1) $h_{\text{wall losses}}$ (Rugi-rugi mayor)

$$h_f = \frac{f \times L \times 0,0 \times Q^2}{D^5}$$

$$= \frac{0,0 \times 3 \text{ m} \times 0,0 \times (2,4 \text{ m}^3/\text{s})^2}{(0,3 \text{ m})^5}$$

$$= 3,71 \text{ m}$$

2) $h_{\text{turb losses}}$ (Rugi-rugi minor)

$$h_{\text{turb loss}} = \frac{(v_a \text{ p})^2}{2} \times \epsilon k$$

$$= \frac{(2,4 \text{ m/s})^2}{2} \times (0,526 + 0,526 + 0,249 + 0,249)$$

$$= 0,47 \text{ m}$$

3) $h_{\text{friction loss}}$

$$h_{\text{friction loss}} = h_{\text{wall loss}} + h_{\text{turbulence loss}}$$

$$= 3,71 \text{ m} + 0,47 \text{ m}$$

$$= 4,18 \text{ m}$$

4) Menghitung Head nett & presentase rugi-rugi

$$h_{\text{gross}} = 25 \text{ m}$$

$$h_{\text{net}} = h_{\text{gross}} - h_{\text{friksi}}$$

$$= 25 \text{ m} - 4,18 \text{ m}$$

$$= 20,82 \text{ m}$$

Tabel 3. Data hasil analisa penstock

Diameter (inch)	H mayor (m)	H minor (m)	H friksi losses (m)	h net (m)
12 "	3,71	0,47	4,18	20,82

Tabel 4. Data hasil simulasi penstock

Diameter (inch)	Kecepatan Outlet (m/s)	P Total Inlet (Pa)	P Total Outlet (Pa)
12"	2,46	33652	2561

C. Analisa data simulasi turbin

1) Daya output

$$P_h = Q [(V_1 \cdot U_1 - V_2 \cdot U_2) + (V_3 \cdot U_3 - V_4 \cdot U_4)]$$

$$P_h = 998 \times 0,3 \times [(20,732 \times 10,768 - 13,414 \times 7,149) + (9,756 \times 8,088 - 6,098 \times 6,098)]$$

$$P_h = 50.618 \text{ kW}$$

2) Daya input

$$P_{ii} = \rho \times Q \times g \times h$$

$$P_{ii} = 998 \text{ kg/m}^3 \times 0,3 \text{ m}^3/\text{s} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 25 \text{ m}$$

$$P_{ii} = 73,427 \text{ kW}$$

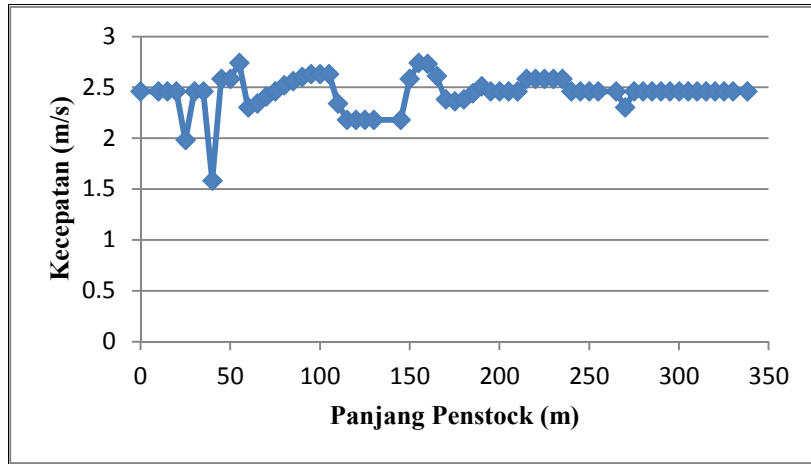
3) Efisiensi Hidrolis

$$\eta_h = \frac{P_o}{P_{ii}} \times 100\%$$

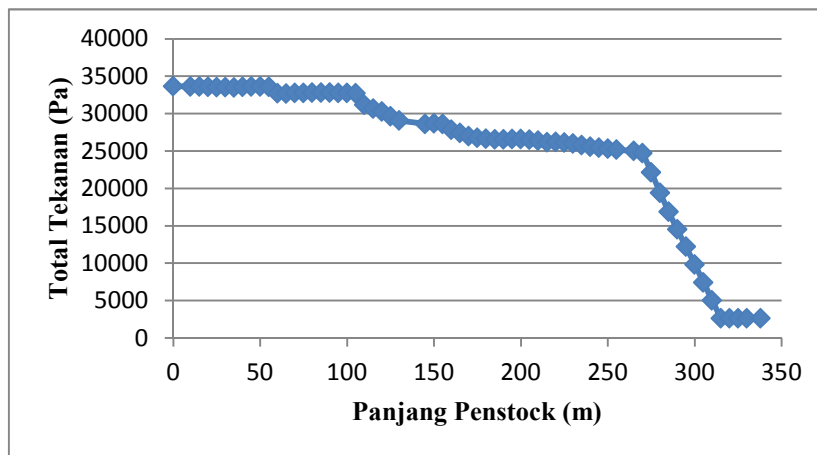
$$\eta_h = \frac{50,618 \text{ kW}}{73,427 \text{ kW}} \times 100\%$$

$$\eta_h = 68,93 \%$$

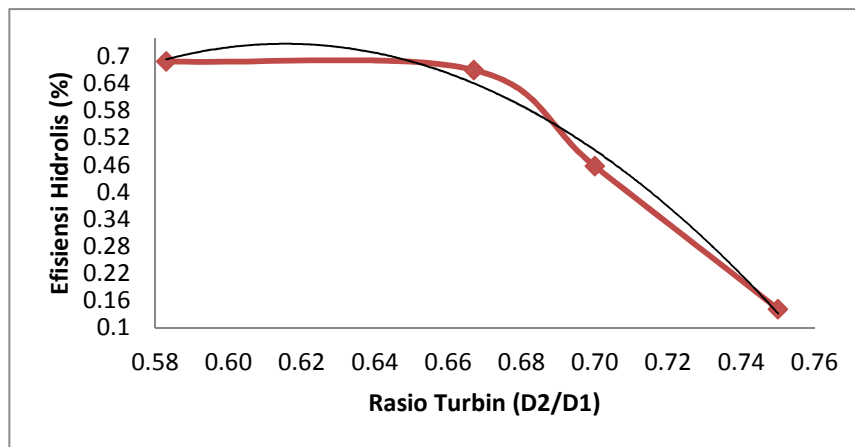
D. Pembahasan



Gambar 7. Grafik hubungan antara kecepatan dengan panjang *penstock*



Gambar 8. Grafik hubungan antara total tekanan dengan panjang *penstock*.



Gambar 9. Grafik hubungan antara efisiensi hidrolis dengan rasio turbin

Inlet kecepatan awal sebesar 2,46 m/s, hal ini dapat dilihat pada Gambar 7. Berdasarkan hasil percobaan yang telah dilakukan oleh Adamkowski [2], terjadinya pembentukan pola aliran di sambungan pipa elbow (1) 45° dan elbow (2) 45° dengan kondisi pola aliran dipisahkan, sehingga dihasilkan bentuk aliran dengan intensitas kecepatan rendah, yang menyebabkan aliran rugi pada sambungan pipa terdeteksi.

Pada Gambar 8, hubungan antara tekanan total dengan panjang penstock, tekanan besar terjadi pada awal masuk *penstock* yaitu 33652 Pa. Dalam keadaan ini, sisi inlet kondisi topografi awal yang curam, dan pada sisi akhir keluar pada *penstock* terjadi pengecilan tekanan total, menjadi 2561 Pa. Situasi ini adalah kondisi akhir sepanjang *penstock* yang posisinya landai.

Efisiensi hidrolis berbanding terbalik dengan rasio turbin (Gambar 9), kondisi optimum terdapat pada data nomor 1 dimana efisiensi hidrolisnya 0,6893 % . Daya hidrolis yang dihasilkan sebesar 50,618 kW dengan jumlah sudu 29 dan sudut serang 16°. Disebabkan parameter rasio diameter dan radius blade pada turbin divariasikan, hal ini dapat mempengaruhi kondisi optimum turbin.

IV. KESIMPULAN

1. Karakteristik pola aliran kecepatan dan tekanan pada *penstock* tidak konstan atau bervariasi dimana kecepatan pada posisi awal mendapatkan nilai input sebesar 2,46 m/s kemudian pada sisi output sebesar 2,46 m/s. Berbeda dengan tekanan, karakteristik tekanan berbanding terbalik dengan kecepatan dimana tekanan pada posisi awal berada pada nilai yang lebih tinggi sebesar 33652 Pa hingga cenderung menurun sampai pada nilai akhir berada pada posisi lebih rendah yaitu sebesar 2561 Pa pada posisi output.
2. Pola aliran fluida dalam penstock yaitu pada kondisi inlet dan outlet mengalami aliran yang konstan atau searah. Sama halnya pada kondisi sambungan pipa 10° menunjukkan adanya pola aliran yang konstan dan tidak berubah atau searah karena kondisi topografi yang landai. Sedangkan pada kondisi sambungan pipa 45° terdapat 2 pola aliran ada yang searah mengikuti aliran penstock dan ada juga yang tidak searah. Hal ini terjadi pada daerah belokan karena pengaruh kondisi topografi yang curam.
3. Efisiensi hidrolis pada kondisi optimum turbin sebesar 68,93 % dengan daya yang dihasilkan sebesar 50,618 kW berbanding lurus karena di pengaruh oleh sudu turbin dan sudut serang yang constant, ratio turbin, ukuran nozel, dan efisiensi turbin..

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ismawanto, dkk, "Simulasi Kekuatan Material pada Karabiner dengan Variasi Geometri," *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Unlam*, Vol. 03 No.1, Feb. 2016.
- [2] U. Muhammad, "Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)," Makalah, Fakultas Pertanian Universitas Syiah Kuala, Darussalam Banda Aceh, 2010.
- [3] N. Hunggul Y.S.H, *Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro*, Yogyakarta: Penerbit Andi, 2015
- [4] H. Adam, *Mickro-Hydro Design Manual A Guide to Small-scale Water Power Schemes*, Srilanka : IT Publication, 1993.
- [5] D.Prasun, *Effect of Reynold Number and Curvature Ratio on Single Phase Turbulent Flow in Pipe Bends*, India : Indian Institute of Engineering Science And Technology, 2014.
- [6] A.Adam, *Improved Discharge Measurement Using the Pressure-Time Method in a Hydropower Plant Curved penstock*, Poland : The Szewaski Institute of Fluid-Flow Machinery, 2009.