

OPTIMASI DIAMETER PIPA PESAT PADA MODEL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH)

Tsani Rakhmawati¹⁾, Rintis Hadiani²⁾, Solichin³⁾

¹⁾ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

^{2) 3)} Pengajar Program Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

Jalan Ir. Sutami No.36A Surakarta 57126. Telp: 0271647069. Email : tsanirakhmawati@gmail.com

Abstract

River has a potential energy that can be utilized to generate electrical energy. This research was conducted at Kendat river, which is located in Dukuh Village, Banyudono District, Boyolali. The river has existing discharge throughout the year. The location of the river is close to the housing that have experiencing electrical limitations so its potential to build a micro hydro power plant. The survey results indicate there is a site of a waterfall that could potential to generate power. Based on the survey, optimum design of penstock diameter in micro hydro power plant done in order to obtained maximum power with minimum cost. This method is based on head loss analysis in penstock to obtain net head. Discharge and net head are the most important variable to calculate the potential energy of the turbine. The type of turbine is Propeller Open-Flume, worked by utilizing out flow draft tube. The results shows a relation graph between penstock diameter and power. The penstock diameter is directly proportional to net head and power on a micro-hydro power plant, and inversely proportional to head loss of penstock. The model analysis result of the discharge $0,26 \text{ m}^3/\text{sec}$, Effective head= $2,78 \text{ m}$, Power energy (P_e)= $5,63 \text{ kW}$, and Diameter penstock (D)= 12 inch .

Keywords: micro hydro, open flume propeller turbine, optimization penstock diameter

Abstrak

Sungai memiliki potensi energi yang dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik. Sungai Kendat, yang terletak di Desa Dukuh, Kecamatan Banyudono, Kabupaten Boyolali dipilih menjadi lokasi penelitian karena debitnya yang ada sepanjang tahun. Lokasi sungai tersebut dekat dengan perumahan yang mengalami keterbatasan listrik sehingga berpotensi untuk dibangun Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. Hasil survei menunjukkan ada site terjunan yang berpotensi menghasilkan daya. Berdasarkan hal tersebut dilakukan simulasi optimasi diameter pipa pesat pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro agar diperoleh daya yang maksimum dengan biaya yang minimum. Metode yang digunakan berdasarkan analisis kehilangan energi pada pipa pesat untuk memperoleh tinggi jatuh efektif. Debit dan tinggi jatuh efektif merupakan variabel terpenting untuk menghitung potensi energi pada turbin. Turbin yang digunakan merupakan jenis *Propeller Open Flume* yaitu turbin yang bekerja dengan memanfaatkan aliran keluar pipa hisap (*draft tube*). Hasil penelitian menunjukkan grafik hubungan diameter dan daya. Diameter pipa berbanding lurus dengan tinggi jatuh efektif dan daya, sedangkan berbanding terbalik dengan kehilangan energi. Analisis yang dilakukan pada model dengan debit $0,26 \text{ m}^3/\text{detik}$, menghasilkan tinggi jatuh efektif sebesar $2,78 \text{ m}$, daya (P_e) = $5,63 \text{ kW}$, $D = 12 \text{ inci}$.

Kata Kunci: mikrohidro, turbin propeller open flume, optimasi diameter pipa pesat

PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) merupakan teknologi pembangkit listrik yang ramah lingkungan karena memanfaatkan aliran sungai atau aliran terjunan menjadi sumber energi listrik melalui turbin. Semakin besar kapasitas aliran maupun tinggi jatuh efektif, maka semakin besar potensi energi yang dapat dihasilkan. Sungai Kendat yang terletak di Desa Dukuh, Kecamatan Banyudono, Kabupaten Boyolali memiliki potensi energi yang dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik. Lokasi ini dipilih karena debitnya yang ada sepanjang tahun dan lokasi sungai tersebut dekat dengan perumahan yang mengalami keterbatasan listrik sehingga berpotensi untuk dibangun PLTMH. PLTMH terdiri atas bak penampung/bak penenang, *penstock* (pipa pesat), turbin, dan *power house*. *Penstock* (pipa pesat) adalah saluran atau terowongan yang menghubungkan bak penampung air ke turbin di gedung pembangkit listrik. Berdasarkan hal tersebut, maka dilakukan simulasi optimasi diameter pipa pesat pada model PLTMH agar diperoleh daya yang maksimum dengan biaya yang minimum. Sehingga diperoleh grafik hubungan diameter pipa pesat dengan daya yang dapat digunakan dalam desain PLTMH untuk mendukung program penyediaan listrik di Kabupaten Boyolali.

LANDASAN TEORI

Daerah Aliran Sungai (DAS)

DAS adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan, dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan (PP No. 37 tentang Pengelolaan DAS, pasal 1).

Evapotranspirasi

Evapotranspirasi (ET_o) adalah proses penguapan yang terjadi pada tumbuh-tumbuhan di permukaan tanah. Air tanah diserap oleh akar tanaman yang kemudian dikirim ke dahan sampai akhirnya sampai ke permukaan daun dan jika terkena sinar matahari akan menguap. Disamping itu, evapotranspirasi juga dapat terjadi akibat air hujan yang tertinggal di permukaan daun (Sobriyah, 2012). Salah satu metode untuk menghitung evapotranspirasi adalah metode *Penman-Monteith* yang dirumuskan dalam Persamaan [1].

$$\dots\dots\dots [1]$$

Keterangan :

- ET_o : evapotranspirasi tanaman acuan (mm/hari),
- R_n : radiasi matahari netto di atas permukaan tanaman (MJ/m²/hari),
- T : suhu udara rata-rata (°C),
- U₂ : kecepatan angin pada ketinggian 2 m dari atas permukaan tanah (m/s),
- e_s : tekanan uap air jenuh (kPa),
- e_a : tekanan uap air aktual (kPa),
- Δ : kemiringan kurva tekanan uap air terhadap suhu (kPa/°C),
- : konstanta psikrometrik (kPa/°C).

Metode Mock

Metode Mock adalah analisis keseimbangan air untuk menghitung harga debit bulanan berdasarkan transformasi data curah hujan bulanan, evapotranspirasi, kelembaban tanah dan tampungan air tanah. Metode Mock merupakan model neraca air yang sederhana dan dikembangkan khusus untuk sungai-sungai di Indonesia (KP-01, 2010).

Debit Andalan

Debit andalan adalah debit minimum sungai dengan kemungkinan debit terpenuhi dalam prosentase tertentu. Debit andalan yang optimal didapatkan melalui Analisis *Basic Month* dilakukan dengan cara menyusun data dari besar ke kecil kemudian menghitung probabilitasnya dengan persamaan *Weibull* yang dirumuskan dalam Persamaan [2].

$$P = i/(n+1) \times 100\% \dots\dots\dots [2]$$

Keterangan :

- i : Nomor urut debit,
- n : Jumlah data,
- P : Probabilitas terjadinya kumpulan nilai yang diharapkan selama periode pengamatan (%).

Debit Aliran

Debit aliran dapat diperoleh dengan mengalikan kecepatan aliran dengan luas penampang. Persamaan debit aliran adalah dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$Q = v.A \dots\dots\dots [3]$$

Keterangan :

- Q : laju aliran (m³/s),
- A : luas penampang aliran (m²),
- v : kecepatan aliran (m/s).

Kehilangan Energi

Kehilangan energi yang terjadi akibat aliran melalui sambungan dan percabangan standar adalah sebanding dengan kuadrat dari kecepatan aliran sebagaimana dirumuskan dalam Persamaan [4].

$$h_e = \alpha \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots [4]$$

Keterangan :

- h_e : kehilangan energi (m),
- α : faktor sambungan/percabangan,
- v : kecepatan aliran (m/dt),
- g : percepatan gravitasi (9,81 m/dt²).

Menurut C.V. Davis (1969); J.M.K. Dake (1985); Alan L. Prasuhn (1987); Bambang Triatmodjo (1996), kehilangan energi akibat gesekan dinyatakan dalam bentuk persamaan *Darcy- Weisbach* sebagai berikut:

$$h_f = f \frac{L v^2}{D 2g} \dots\dots\dots [5]$$

Keterangan :

- h_f : kehilangan energi (m),
- f : koefisien gesekan pipa,
- L : panjang ruas pipa (m),
- D : diameter dalam pipa (m),
- v : kecepatan aliran pipa (m/s),
- g : percepatan gravitasi (9,81 m/s²).

Menurut Victor L. Streeter (1988) Persamaan *Darcy – Weisbach* secara teoritis tepat digunakan untuk semua rezim aliran dan semua jenis *liquid*.

Untuk menentukan koefisien gesekan di persamaan *Darcy Weisbach*, Moody's (1944) dalam mengembangkan kurva dari nilai-nilai yang berbeda dari kekasaran relatif (k/D) untuk diberikan langsung nilai-nilai koefisien gesekan. Swami dan Jain (1976) mengembangkan hubungan eksplisit untuk menentukan koefisien gesekan dari segi Re dan tinggi kekasaran relative (k/D) dalam bentuk persamaan berikut (Singhal M.K. dan Arun Kumar, 2015) :

$$f = 0,25 \log(k/3.7D + 5,74/Re^{0,9})^{-2} \dots\dots\dots [6]$$

Keterangan :

- f : koefisien gesekan pipa,
- D : diameter dalam pipa (m),
- k : kekasaran pipa,
- Re : Bilangan *Reynolds*.

Tinggi Jatuh (*Head*)

Tinggi jatuh yang digunakan merupakan tinggi jatuh efektif yang didapat dari tinggi jatuh bruto dikurangi tinggi jatuh dari tekanan air yang hilang. Dapat dilihat dalam Persamaan [7].

$$H_{eff} = H_{bruto} - H_{losses} \dots\dots\dots [7]$$

Keterangan:

- H_{eff} : tinggi jatuh efektif,
- H_{bruto} : tinggi jatuh bruto,
- H_{losses} : tinggi jatuh dari tekanan air yang hilang.

Analisis Daya

Besarnya daya yang dibangkitkan bergantung dengan debit dan ketinggian jatuhnya air. Semakin besar debit dan tinggi jatuhnya air maka semakin besar energi potensial dan semakin besar pula daya yang dihasilkan. Perhitungan daya dapat dirumuskan dalam Persamaan [8].

$$\dots\dots\dots [8]$$

Keterangan:

- P_o : daya yang dihasilkan (kW),

g : percepatan gravitasi (m/s^2),
 η : efisiensi turbin,
 Q_{and} : debit andalan (m^3/s),
 H_{eff} : tinggi jatuh efektif (m).

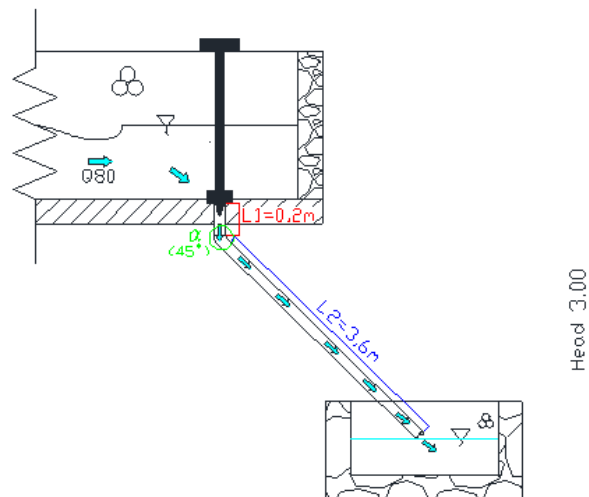
METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data berupa data curah hujan, dan klimatologi yang diperoleh dari Balai Pengelolaan Sumber Daya Air (BPSDA) Bengawan Solo. Tahapan penelitian untuk simulasi optimasi diameter pipa pesat adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan data debit hasil analisis dengan Metode Mock.
2. Menghitung kehilangan energi pada pipa pesat dengan variasi diameter.
3. Menghitung tinggi jatuh efektif.
4. Menghitung daya yang dihasilkan.
5. Membuat grafik hubungan diameter pipa pesat dengan daya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model PLTMH yang digunakan untuk simulasi optimasi diameter pipa pesat agar menghasilkan daya yang maksimum dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Model PLTMH

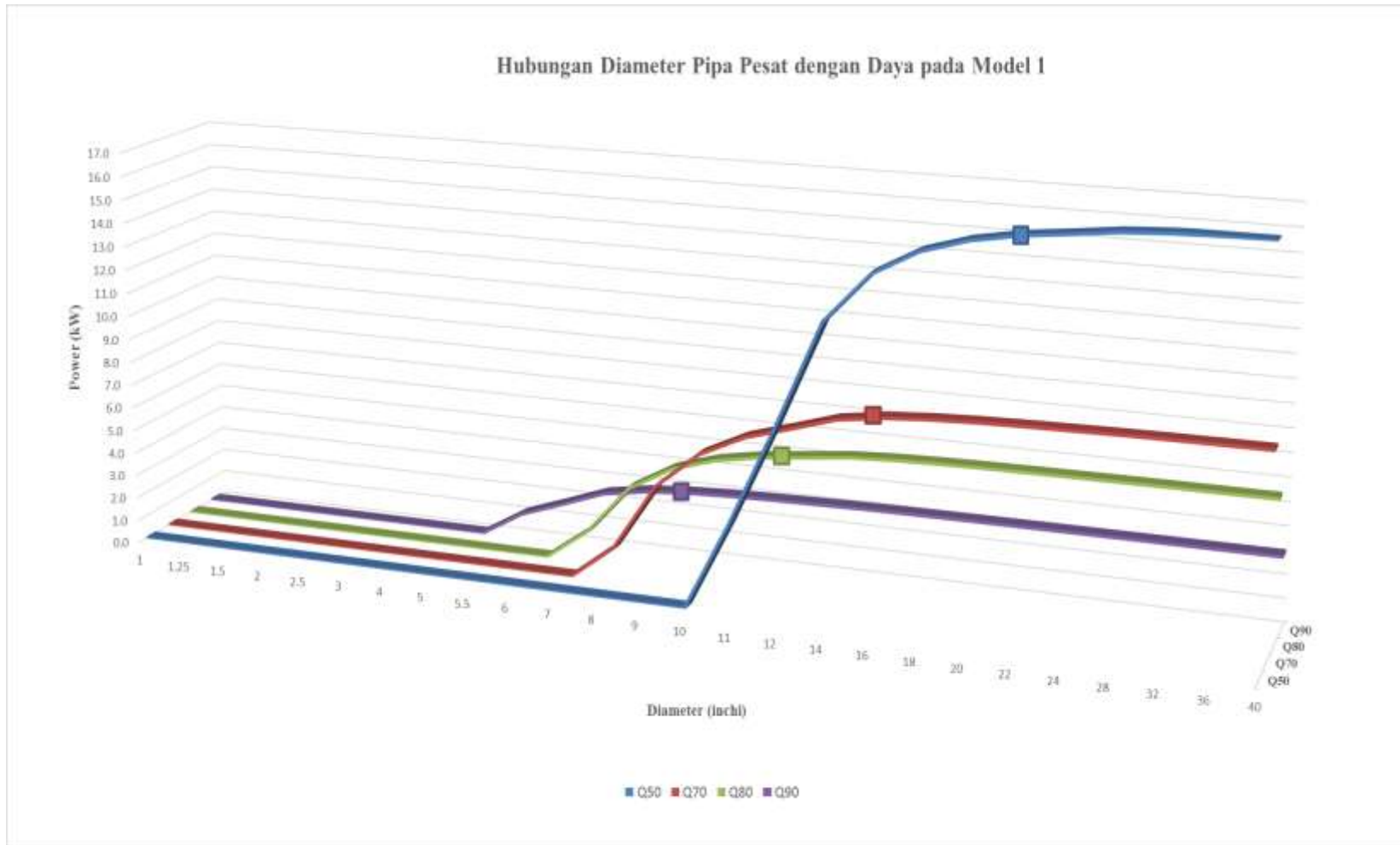
Rekapitulasi hasil perhitungan optimasi diameter pipa pesat pada model PLTMH dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Q_{80}

Diameter (inchi)	Kehilangan Energi (m)	H_{eff} (m)	P_o (kW)
7	2,323	0,677	1,369
8	1,280	1,720	3,479
9	0,759	2,241	4,532
10	0,477	2,523	5,102
11	0,314	2,686	5,432
12	0,215	2,785	5,633
14	0,110	2,890	5,845
16	0,062	2,938	5,942
18	0,037	2,963	5,992
20	0,024	2,976	6,019
22	0,016	2,984	6,035
24	0,011	2,989	6,045
28	0,006	2,994	6,055
32	0,003	2,997	6,060
36	0,002	2,998	6,063
40	0,001	2,999	6,064

Dari hasil perhitungan dapat dilihat bahwa diameter pipa pesat berbanding lurus dengan tinggi jatuh efektif (H_{eff}) dan daya (P_0), sedangkan berbanding terbalik dengan kehilangan energi.

Hasil grafik optimasi diameter pipa pesat pada beberapa variasi debit dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan Diameter Pipa Pesat dengan Daya pada Model PLTMH

Dari hasil penelitian ini diperoleh grafik hubungan diameter dengan daya. Semakin besar diameter pipa maka kehilangan energi semakin kecil, tinggi jatuh efektif semakin besar, dan daya semakin besar. Hasil daya maksimum adalah pada saat grafik menunjukkan selisih hasil daya pada pipa pesat lainnya hanya sedikit atau nilainya mendekati, sehingga diperoleh diameter pipa pesat yang terbaik. Pada penelitian ini menggunakan 1 desimal untuk menentukan selisih daya. Simulasi ini menggunakan persamaan *Darcy-Weisbach* dan masih dapat dilakukan dengan persamaan atau metode lainnya

SIMPULAN

Dari hasil analisis pada model PLTMH diperoleh diameter optimum yaitu Q50= 22 inchi dengan $P_o= 16,37$ kW, Q70= 16 inchi dengan $P_o= 8,21$ kW, Q80= 12 inchi dengan $P_o= 5,63$ kW, dan Q90= 10 inchi dengan $P_o=3,00$ kW.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada Dr. Ir. Rr. Rintis Hadiani, M.T. dan Ir. Solichin, M.T. yang telah membimbing dan memberi arahan serta masukan dalam penelitian ini.

REFERENSI

- Dake, JMK, E.P., Tachyan, & Yohanes P. (1985). *Hidrolika Teknik Edisi Kedua*. Jakarta: Erlangga.
- Davis, C. V. (1969). *Handbook of Applied Hydraulics*. New York: McGraw-Hill Book.
- Peraturan Pemerintah No. 37 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. (2012). Jakarta.
- Prasuhn, Alan L. (1987). *Fundamental of Hydraulic Engineering International Edition*. United States of America: Holt, Reinhart and Winston, Inc.
- Singhal M. K.; Arun Kumar. (2015). Optimum Design of Penstock for Hydro Projects. *International Journal of Energy and Power Engineering*, Vol 4, No. 4 pp.216-226.
- Sobriyah. (2012). *Model Hidrologi*. Surakarta: UNS Press.
- Standar Perencanaan Irigasi KP-01. (2010). Badan Penerbit Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Streeter, V. L., & Prijono, A. (1988). *Mekanika Fluida Jilid I*. Jakarta: Erlangga.
- Triatmodjo, Bambang. (1996). *Hidraulika I*. Yogyakarta: Beta Offset.