

STUDI EFISIENSI PURWARUPA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PIKOHIDRO MENGGUNAKAN TURBIN BALING-BALING

STUDY OF PICOHYDRO POWER PLANT PROTOTYPE EFFICIENCY USING PROPELLER TURBINE

Reza Naufal Rizqullah¹, Drs. Suwandi, M.Si.², Ahmad Qurthobi, S.T., M.T.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹rezanaufalrizqullah@yahoo.co.id, ²suwandi@telkomuniversity.co.id, ³qurthobi@gmail.com

Abstrak

Air merupakan sumber energi yang berpotensi besar sebagai pembangkit listrik. Pembangkit listrik tenaga air semakin strategis sebagai salah satu sumber energi terbarukan, mengingat potensi sumber energi dari fosil dan batu bara akan semakin berkurang. Pembangkit listrik tenaga pikohidro (PLTPH) merupakan salah satu alternatif penghasil energi listrik skala kecil yang memanfaatkan aliran air sungai sebagai tenaga untuk menggerakkan turbin, mengubah energi potensial air menjadi kerja mekanis, memutar turbin dan generator untuk menghasilkan daya listrik skala kecil, yaitu maksimum sebesar 5 kW. Pada kegiatan tugas akhir ini dilakukan pembuatan dan pengujian turbin propeller untuk pembangkit listrik tenaga pikohidro. Pengujian turbin propeller meliputi pengujian efisiensi turbin propeller berdasarkan daya keluaran yang dihasilkan generator serta pengujian karakteristik statis. Variabel yang diuji pada penelitian ini adalah debit air, tekanan air, tegangan dan arus listrik. Dari hasil penelitian didapatkan karakteristik statik yaitu rata-rata debit air masukan adalah $9,24 \times 10^{-5}$, rata-rata tegangan keluaran adalah 6,77 V, rata-rata arus keluaran adalah 0,042 A. Efisiensi yang dihasilkan dari turbin propeller yang diuji adalah 0,43%.

Kata kunci : Pembangkit listrik tenaga pikohidro, karakteristik statis, efisiensi.

Abstract

Water is a potential energy source as a power plant. Hydroelectric power plant is increasingly strategic as one of the renewable energy sources, considering the potential for energy sources from fossils and coal will decrease. Picohydro power plant is an alternative producer of small-scale electricity that utilizes river water flow as energy to drive turbines, converts potential water energy into mechanical work, rotates turbines and generators to produce small-scale electric power, which is a maximum of 5 kW. In this final project, the manufacture and testing of propeller turbine for picohydro power plant. Propeller turbine testing includes testing the efficiency of the propeller turbine based on the output power by the generator as well as testing the static characteristics. The variables that tested in this project are water discharge, water pressure, voltage and electric current. From the research results obtained static characteristics are the average input water flow rate is $9,24 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$, the average output voltage is 6.77 V, the average output current is 0.042 A. The efficiency of propeller turbine is 0,43%.

Keywords: Picohydro power plant, static characteristics, efficiency.

1. Pendahuluan

Kebutuhan listrik semakin meningkat sejalan meningkatnya perkembangan kebutuhan manusia. Berdasarkan data Kementerian ESDM, konsumsi listrik Indonesia 2017 mencapai 1.012 Kilowatt per Hour (KWH)/kapita, naik 5,9 persen dari tahun sebelumnya [1]. Konsumsi listrik Indonesia yang begitu besar akan menjadi suatu masalah bila dalam penyediaannya tidak sejalan dengan kebutuhan. Sebagian besar pembangkit listrik yang terdapat di Indonesia masih menggunakan tenaga diesel atau sumber energi lain yang tidak dapat diperbaharui, sedangkan sumber energi tersebut sangat terbatas dan apabila digunakan secara terus-menerus maka suatu saat sumber energi tersebut akan habis.

Air merupakan sumber energi yang berpotensi besar sebagai pembangkit listrik. Pembangkit listrik tenaga air semakin strategis sebagai salah satu sumber energi terbarukan, mengingat potensi sumber energi dari fosil dan batu bara akan semakin berkurang [2]. Potensi air di Indonesia yang melimpah memungkinkan penggunaan pembangkit listrik tenaga pikohidro. Pembangkit listrik tenaga pikohidro (PLTPH) merupakan salah satu alternatif penghasil energi listrik skala kecil yang

memanfaatkan aliran air sungai sebagai tenaga (*resources*) untuk menggerakkan turbin, mengubah energi potensial air menjadi kerja mekanis, memutar turbin dan generator untuk menghasilkan daya listrik skala kecil, yaitu maksimum sebesar 5 kW, yang sama sekali tidak menggunakan bahan bakar [3]. Secara teknis, pembangkit listrik tenaga pikohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sebagai sumber energi), turbin dan generator. Pembangkit listrik tenaga pikohidro mendapatkan energi dari aliran air yang memiliki perbedaan ketinggian tertentu. Pada dasarnya, pembangkit listrik tenaga pikohidro memanfaatkan energi potensial jatuhnya air (*head*). Semakin tinggi jatuhnya air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik [4,5].

Sebelumnya, P2 Telimek LIPI membuat PLTPH dengan turbin propeller yang sederhana. Turbin tersebut memiliki 3 sudu dan dioperasikan pada head yang rendah (1,5-2 meter). Melalui pengujian tersebut, pada head 2 meter dicapai putaran maksimal sebesar 795 rpm, daya poros 3,92 Nm, daya turbin sebesar 326,32 watt dengan efisiensi turbin 56,39%. Pada head 1,8 meter didapat putaran terendah sebesar 776 rpm, daya poros 2,94 Nm, daya turbin sebesar 238,89 watt, dengan efisiensi turbin 54,25% [6].

Pada kegiatan tugas akhir ini akan dilakukan pembuatan dan pengujian turbin propeller untuk pembangkit listrik tenaga pikohidro. Pengujian turbin propeller meliputi daya mekanik masukan turbin dan daya elektrik keluaran generator. Setelah itu dilakukan pengambilan data dari beberapa kondisi daya mekanik masukan turbin. Dari data tersebut dapat diketahui efisiensi dan karakteristik turbin propeller yang diuji. Turbin propeller yang dibuat diharapkan dapat menghasilkan efisiensi yang tinggi.

2. Dasar Teori

2.1 Potensi Energi Air

Potensi air sebagai sumber energi terutama digunakan sebagai penyedia energi listrik melalui pembangkit listrik tenaga air. Sumber energi air merupakan sumber yang dapat diperbaharui. Banyaknya sungai dan danau air tawar yang ada di Indonesia merupakan modal awal untuk pengembangan energi air. Pemanfaatan energi air pada dasarnya adalah pemanfaatan energi potensial gravitasi. Energi mekanik aliran air yang merupakan transformasi dari energi potensial gravitasi dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin, lalu turbin digunakan untuk membangkitkan energi listrik.

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro

Pembangkit listrik tenaga pikohidro (PLTPH) adalah pembangkit listrik berskala kecil (kurang dari 5 kW), yang memanfaatkan tenaga (aliran) air sebagai sumber penghasil energi. Pikohidro juga dikenal sebagai *white resources* karena instalasi pembangkit listrik seperti ini menggunakan sumber daya yang telah disediakan oleh alam dan ramah lingkungan. Tenaga air berasal dari aliran sungai kecil atau danau yang dibendung dan kemudian dari ketinggian tertentu dan memiliki debit yang sesuai akan menggerakkan turbin yang dihubungkan dengan generator listrik. Semakin tinggi jatuhnya air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Pembangkit tenaga air merupakan suatu bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin air dan generator [7,8].

2.3 Pengukuran Daya

Daya merupakan laju alih sistm dari suatu sistem menuju sistem lain dengan Satuan Internasional joule per sekon, atau dinamakan watt (W). Pengukuran daya air dilakukan dengan cara mengatur kecepatan aliran air dan ketinggian air yang mengalir menuju sistem turbin [9]. Daya air dapat diperoleh melalui persamaan 2.1.

$$P = \rho ghQ \quad (2.1)$$

Di mana P adalah daya, ρ adalah densitas, g adalah konstanta gravitasi, h adalah ketinggian, dan Q adalah debit.

2.4 Karakteristik Statik

Karakteristik statis merupakan karakter yang berhubungan dengan pembacaan respon sistem saat kondisi stabil. Karakteristik statis seringkali dikaitkan dengan metode kalibrasi yaitu membandingkan nilai keluaran dan masukan menggunakan instrumen standar serta memerhatikan nilai error lingkungan pada sistem. Beberapa karakteristik statis instrumen pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut [9].

2.4.1 Rata-rata

Rata-rata merupakan jumlah nilai seluruh data dibagi dengan banyaknya data. Rata-rata dapat diperoleh melalui persamaan (2.2)

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2.2)$$

Dimana x_i adalah data ke-I dan n adalah banyak pengujian.

2.4.2 Standar Deviasi

Standar deviasi merupakan ukuran variabilitas dari data yang diambil. Standar deviasi dapat diperoleh melalui persamaan (2.3).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2.3)$$

Di mana σ adalah standar deviasi, x_i adalah data ke-I, \bar{x} adalah rata-rata, dan n adalah banyak pengujian.

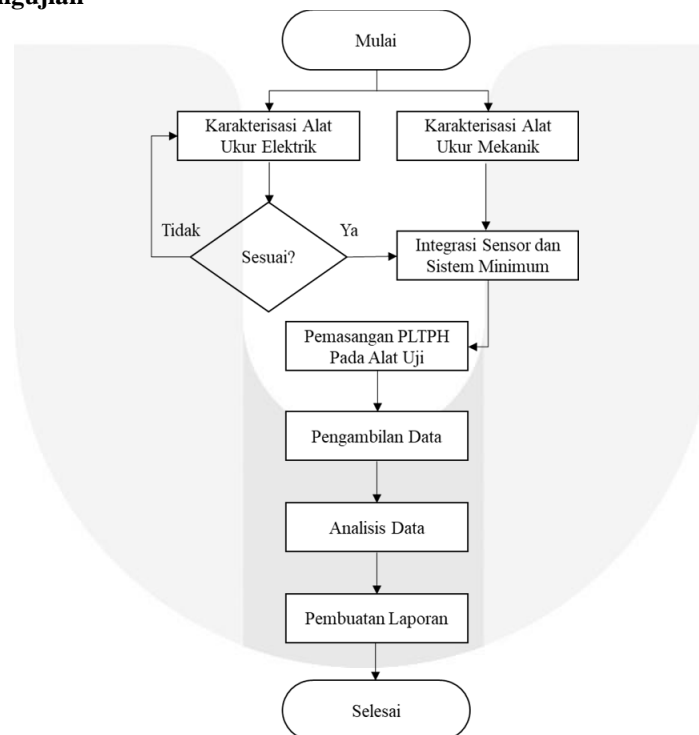
2.4.3 Presisi

Presisi merupakan penyebaran nilai pengukuran dari nilai rata-ratanya. Presisi dalam instrumentasi biasa digunakan untuk melihat distribusi kesalahan pengukuran. Apabila dalam pengukuran ditemukan presisi yang besar, penyebaran pembacaan cenderung kecil. Dalam ilustrasi ini, presisi tinggi tidak menentukan akurasi pengukuran, atau harga terdekat suatu pembacaan instrumen terhadap harga sebenarnya. Presisi suatu pengukuran dapat diperoleh melalui persamaan (2.4).

$$\text{Presisi} = 100\% \times \left(1 - \frac{3\sigma}{\bar{x}}\right) \quad (2.4)$$

Di mana σ adalah standar deviasi dan \bar{x} rata-rata.

2.5 Metode Pengujian

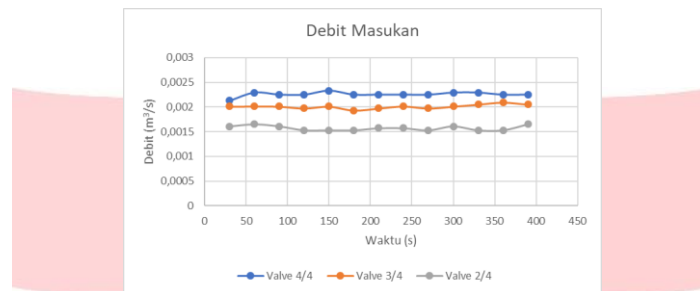


Gambar 2.1 Diagram Alir Alat Uji PLTPH

Pengujian alat dimulai dengan dipasang pada alat uji yang telah dibuat sebelumnya sehingga dapat diambil data untuk penelitian ini. Sistem alat uji terdiri dari alat ukur elektrik dan alat ukur mekanik yang harus dikarakterisasi terlebih dahulu. Variabel yang diuji pada penelitian ini adalah debit air, tegangan dan arus listrik. Pengujian efisiensi dilakukan dengan cara membandingkan daya elektrik keluaran generator dengan daya mekanik masukan turbin. Debit air yang mengalir pada turbin merupakan daya masukan serta besar tegangan dan arus yang dihasilkan generator merupakan daya elektrik keluaran. Kemudian pengujian karakteristik statis yang dilakukan adalah dengan cara mengukur besar debit air serta mengukur tegangan dan arus keluaran dari generator.

3. Pembahasan

Pengujian debit masukan turbin menggunakan sensor *flowmeter* FS300A G3/4” yang dihubungkan dengan mikrokontroler, yaitu Arduino Uno. Batas maksimal dari sensor *flowmeter* adalah 60 lpm. Sensor ini berbasis sensor *hall effect* yaitu sistem deteksi non kontak dengan keluaran sensor berupa sinyal digital yang kemudian diproses menggunakan mikrokontroler. Data hasil keluaran dari sensor ditampilkan pada *serial monitor* aplikasi Arduino IDE. Sensor *flowmeter* dikalibrasi sebelum melakukan pengujian dengan metode air ditampung dalam wadah dengan waktu 60 detik. Kemudian dihitung volume air yang ditampung dan dibandingkan dengan nilai keluaran sensor *flowmeter*.



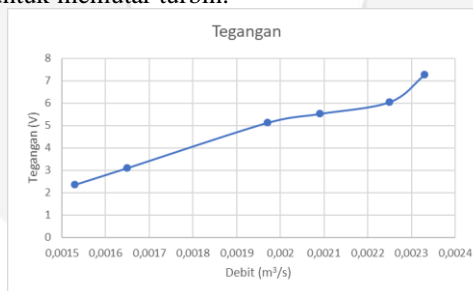
Gambar 3.1 Hasil Pengujian Debit Masukan

Hubungan debit masukan turbin dengan kondisi bukaan *valve* pada gambar 3.1 memperlihatkan bahwa besar bukaan *valve* akan mempengaruhi debit air yang mengalir pada turbin. Karakteristik statis pengujian debit masukan dari ketiga kondisi pengujian turbin dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Karakteristik Statis Debit Masukan

Pengujian	Kondisi Bukaan Valve	Rata-rata (Volt)	Standar Deviasi	Presisi (%)
Kondisi 1	90°	$2,21 \times 10^{-3}$	$2,21 \times 10^{-3}$	87,50
Kondisi 2	67,5°	$2,01 \times 10^{-3}$	$2,01 \times 10^{-3}$	94,54
Kondisi 3	45°	$1,61 \times 10^{-3}$	$1,61 \times 10^{-3}$	87,14

Berdasarkan data yang diperoleh setelah dilakukan pengujian, dapat dibuat grafik yang terdiri atas nilai tegangan keluaran generator dari variasi bukaan *valve*. Besar bukaan *valve* akan mempengaruhi debit air yang digunakan untuk memutar turbin.



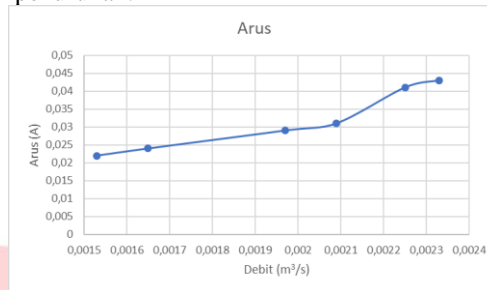
Gambar 3.2 Hasil Pengujian Tegangan

Besar tegangan yang dihasilkan sangat bergantung pada debit air masukan turbin. Hal ini disebabkan karena kecepatan putar turbin untuk menggerakkan generator menurun apabila debit air masukan turbin menjadi kecil. Karakteristik statis pengukuran tegangan keluaran dari ketiga kondisi pengujian turbin propeller dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 3.2 Karakteristik Statis Tegangan

Pengujian	Kondisi Bukaan Valve	Rata-rata (Volt)	Standar Deviasi	Presisi (%)
Kondisi 1	90°	6,77	0,26	88,26
Kondisi 2	67,5°	5,11	0,30	82,14
Kondisi 3	45°	2,65	0,40	53,94

Pengujian arus dilakukan dengan cara generator diberi resistansi sebesar 100Ω. Berdasarkan variasi kondisi pengujian arus keluaran yang diperlihatkan pada gambar 4.6 menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan putar turbin maka semakin besar arus yang dihasilkan dari generator. Begitu pula sebaliknya, apabila kecepatan putar lambat atau mengalami penurunan maka arus keluaran dari generator akan mengalami penurunan.



Gambar 3.2 Hasil Pengukuran Arus

Berdasarkan data yang diperoleh setelah dilakukan pengujian, arus keluaran generator tidak berubah secara signifikan pada tiap kondisi pengujian. Rata-rata arus keluaran pada kondisi 1 adalah 0,042 A, rata-rata arus keluaran pada kondisi 2 adalah 0,031 A, sedangkan rata-rata arus keluaran pada kondisi 3 adalah 0,023 A. Rangkuman pengolahan data karakteristik statis pengukuran arus keluaran dari pengujian turbin dapat dilihat pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Karakteristik Statis Arus

Pengujian	Kondisi Bukaan Valve	Rata-rata (Ampere)	Standar Deviasi	Presisi (%)
Kondisi 1	90°	0,042	0,001	92,23
Kondisi 2	67,5°	0,031	0,001	86,26
Kondisi 3	45°	0,023	0,006	91,54

Efisiensi turbin merupakan perbandingan daya elektrik yang dihasilkan oleh turbin dengan daya mekanik yang digunakan untuk menggerakkan turbin. Daya elektrik didapatkan dengan cara mengalikan tegangan dan arus listrik yang dihasilkan generator setelah diputar oleh turbin sedangkan daya mekanik merupakan daya yang menggerakkan turbin. Pada pengujian ini, daya mekanik bergantung pada debit air masukan. Semakin besar debit air masukan, daya mekanik ikut meningkat. Efisiensi dapat dihitung dengan persamaan (3.1).

$$\eta_t = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \tag{3.1}$$

Diketahui :

Daya Elektrik Keluaran (P_{out}) = 0,287 Watt

Daya Mekanik Masukan (P_{in}) = 65,08 Watt

$$\eta_t = \frac{0,28}{65,08} \times 100\% = 0,43\%$$

Jadi, efisiensi yang dihasilkan oleh turbin adalah sebesar 0,43%.

Rangkuman pengolahan data karakteristik statis daya mekanik dan daya elektrik dari ketiga kondisi pengujian turbin dapat dilihat pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Hasil Pengujian Daya

Pengujian	Daya Mekanik		Daya Elektrik		Efisiensi (%)
	Rata-rata (Watt)	Standar Deviasi	Rata-rata (Watt)	Standar Deviasi	
Kondisi 1	65,08	2,71	0,28	0,01	0,43
Kondisi 2	59,13	1,07	0,15	0,01	0,25
Kondisi 3	47,13	2,02	0,06	0,01	0,14

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian turbin propeller pada pembangkit listrik tenaga pikohidro yang telah dilakukan menghasilkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Karakteristik statik yaitu rata-rata debit air masukan adalah $2,21 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, dengan standar deviasi sebesar $9,24 \times 10^{-5}$, rata-rata tegangan keluaran adalah 6,77 V dengan standar deviasi sebesar 0,26, rata-rata arus keluaran adalah 0,042 A dengan standar deviasi sebesar 0,001.
2. Besar daya keluaran yang dihasilkan sangat bergantung pada kecepatan aliran masukan turbin. Hubungan pengaruh kecepatan aliran air terhadap daya keluaran turbin linear.
3. Efisiensi maksimal turbin propeller adalah 0,43%, yaitu pada kondisi *valve* dibuka penuh, sedangkan efisiensi minimal dari turbin propeller adalah 0,14% yaitu pada kondisi *valve* dibuka setengah.

Daftar Pustaka:

- [1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. [online] : <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/capaian-2017-dan-outlook-2018-subsektor-ketenagalistrikan-dan-ebtke->. Diakses pada tanggal : 7 September 2018.
- [2] Haryani, T., Wardoyo, W. & Hidayat, A. 2015. Perencanaan Pembangunan Listrik Tenaga Mikrohidro di Saluran Irigasi Mataram. *Jurnal Hidroteknik Vol. 2 No. 1*.
- [3] Khomsah, Ali. 2015. Analisa Teori : Performa Turbin Cross Flow Sudu Bambu 5” sebagai Penggerak Mula Generator Induksi 3 Fasa. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III*.
- [4] Gunawan, A. & Khabzli, W. 2013. Pemantauan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). *Jurnal Rekayasa ElektriKA Vol. 10 No. 4*.
- [5] Apriansyah, F., Rusdinar, A. & Darlis, D. 2016. Rancang Bangun Sistem Pembangkit Listrik Mikrohidro (PLTMH) Pada Pipa Saluran Pembuangan Air Hujan Vertikal. *e-Proceeding of Engineering Vol. 3 No. 1*.
- [6] Darajat, M. 2006. Pengujian Turbin Propeller Tipe Open Flume Pada Sistem PLTMH (Studi Kasus di P2 Telimek LIPI). Tugas Akhir Jurusan Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Bandung.
- [7] Risnandar, Pratama, F. A. & Novrinaldi. GIS untuk Menentukan Potensi Pembangunan Piko-Hidro. *Jurnal Teknologi Informasi Vol. 1 No. 2*. Hal. 60-65, November 2011.
- [8] Dwiyanto, V., Indriana, D. & Tugiono, S. 2016. Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Studi Kasus: Sungai Air Anak (Hulu Sungai Way Besai). *JRSDD Vol. 4, No. 3*.
- [9] Athifa, N., Suwandi & Qurthobi, A. 2017. Perencanaan Alat Uji Efisiensi Pembangkit Listrik Turbin Pikohidro. *e-Proceeding of Engineering Vol. 4 No. 3*.