

ANALISIS KINERJA TURBIN ARCHIMEDES SCREW PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO

1,2,3,4) Program Studi Teknik
Mesin, Universitas
Lambung Mangkurat, JL.
Akhmad Yani Km.35,5,
Banjarbaru, Indonesia

Andy Nugraha ¹⁾, Muhammad Nizar Ramadhan ²⁾,
Akhmad Syarief ³⁾, Dwi Suci Adianto ⁴⁾

Corresponding email ¹⁾ :
andy.nugraha@ulm.ac.id

Received: 26.12.2021

Accepted: 12.06.2022

Published: 28.06.2022

©2022 Politala Press.
All Rights Reserved.

Abstrak. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah suatu pembangkit listrik skala kecil dengan menggunakan tenaga air sebagai tenaga dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (head) dan jumlah debit air. Turbin archimedes screw dapat beroperasi pada head rendah dibawah 10 meter, tidak membutuhkan pipa pesat, mudah dalam perawatan dan pemasangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variasi debit aliran air terhadap Torsi, daya hidrolis, daya generator dan efisiensi turbin yang mampu dihasilkan oleh turbin Archimedes screw. Variasi debit aliran air yang digunakan pada penelitian ini yaitu 1 liter/s, 1,5 liter/s, dan 2 liter/s. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa variasi debit aliran air berbanding lurus terhadap kinerja PLTMH dimana didapatkan torsi turbine efisiensi generator pada debit aliran 2 liter/s sebesar 12,76%, pada debit aliran air 1,5 liter/s sebesar 9,07%, dan pada 1 liter/s sebesar 1,16%.

Kata Kunci: debit aliran air, efisiensi generator, PLTMH, turbin archimedes screw.

Abstract. Micro-hydro Power Plant (PLTMH) is a small-scale power plant that uses hydropower as energy by utilizing the head and the amount of water discharge. Archimedes screw turbine is a turbine that has the ability to operate at a low head below 10 meters, does not require a fast pipe, is easy to maintain and install. This study aims to determine the variation of water flow discharge on torque, hydraulic power, generator power and turbine efficiency that can be produced by an Archimedes screw turbine. Variations in the flow of water used in this study are 1 liter/s, 1.5 liters/s, and 2 liters/s. The results of this study indicate that variations in water flow discharge are directly proportional to the performance of PLTMH where the turbine efficiency of the generator obtained at a flow rate of 2 liters/s is 12.76%, at a water flow rate of 1.5 liters/s is 9.07%, and at 1 liter/s of 1.16%.

Keywords: water flow rate, generator efficiency, MHP, Archimedes screw turbin.

To cite this article: <https://doi.org/10.34128/je.v9i1.183>

1. Pendahuluan

Dewasa ini kebutuhan akan energi listrik terus meningkat seiring dengan semakin banyaknya masyarakat yang menggunakan peralatan elektronik, hal ini pun ditambah lagi dengan kebijakan pemerintah Indonesia yang mulai menggalakkan penggunaan mobil listrik. Permasalahan ini perlu segera ditanggulangi dengan membuat pembangkit-pembangkit listrik baru, baik itu dengan kapasitas rendah, sedang, maupun tinggi. Pembangkit listrik yang berpotensi untuk diterapkan di Indonesia antara lain: PLTA, PLTS, PLTU, dan PLTAngin. Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) merupakan pembangkit listrik yang paling mudah untuk diterapkan di daerah yang banyak terdapat aliran sungai, baik itu sungai kecil, sedang, maupun besar kesemuanya dapat dimanfaatkan. PLTA menggunakan turbin dan generator untuk mengkonversi energi mekanik aliran air menjadi listrik. Turbin yang digunakan dapat bermacam-macam tergantung kondisi aliran airnya. Untuk kondisi aliran air yang tidak begitu

deras dapat menggunakan turbin Archimedes screw. Turbin Archimedes screw memiliki kemudahan dalam perakitan maupun perawatannya, sehingga penggunaan turbin ini akan sangat memudahkan masyarakat. Untuk mengetahui lebih jauh potensi dari turbin Archimedes screw terutama ketika terjadi penurunan debit aliran air dan adanya kemiringan sudut turbin, maka peneliti melakukan uji eksperimental pembangkit listrik tenaga mikro hidro dengan menggunakan turbin Archimedes screw.

2. Tinjauan Pustaka

Mikro Hidro

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) merupakan pembangkit listrik tenaga air berskala kecil yang memanfaatkan energi mekanik dari aliran air, seperti saluran irigasi, sungai, atau air terjun alami. Komponen utama PLTMH agar dapat beroperasi dengan baik, yaitu aliran air, turbin, dan generator. Pada dasarnya, pembangkit listrik tenaga mikrohidro menggunakan energi potensial air yang jatuh (head air). Semakin tinggi tetesan air, semakin besar energi potensial untuk dikonversi menjadi listrik [1].

Turbin Archimedes Screw

Archimedes Screw atau pompa sekrup merupakan mekanisme paling tua yang masih digunakan untuk memindahkan air untuk berbagai keperluan, seperti pengairan, sirkulasi, dan lainnya. Air dipindahkan atau di alirkan dengan menggunakan poros yang dilengkapi dengan sudu-sudu yang berfungsi seperti ember. Poros dan sudu-sudu ini diletakkan di dalam sebuah wadah berbentuk tabung yang berfungsi untuk mencegah air yang dialirkan tumpah kemana-mana. Desain poros dan sudu-sudunya dibuat seefektif mungkin agar tidak terjadi sumbatan yang dapat mengganggu jalannya turbin Archimedes Screw [2].

Debit Air

Pengujian debit air bertujuan untuk mengetahui seberapa banyak air yang mengalir dalam satuan volume per satuan waktu [3]. Untuk menghitung debit aliran air dapat digunakan persamaan berikut [4]:

$$Debit = \frac{Volume\ Bejana}{Waktu\ untuk\ memenuhi\ bejana} \quad (1)$$

Daya Hidrolis

Tenaga air adalah tenaga yang dihasilkan oleh air yang mengalir dari suatu ketinggian. Dalam hal ini, daya hidrolis diperoleh dari daya hidrolis yang dihasilkan oleh pompa [5].

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (2)$$

Dimana :

P = Daya Hidrolis (watt)

ρ = Massa jenis fluida/air (kg/m³)

Q = Debit air (m³/s)

g = Gaya gravitasi (m/s²)

H = Tinggi air jatuh (m)

Daya Generator

Daya generator adalah daya turbin yang dihasilkan oleh energi kinetik [6].

$$P_G = V \cdot I \quad (3)$$

Dimana :

P_G = Daya Generator (watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (A)

Daya Mekanik

Daya mekanik adalah daya yang dibangkitkan oleh turbin air dengan mengubah energi kinetik air menjadi energi mekanik berupa putaran poros turbin [5].

$$P_t = T \times \omega \quad (4)$$

Dimana :

P_t = Daya Turbin (Watt)

T = Torsi (Nm)

ω = Kecepatan Sudut (rad/s)

Efisiensi Generator

Efisiensi Generator (η_G) adalah kemampuan peralatan pembangkit untuk mengubah energi kinetik dari air yang mengalir menjadi energi listrik [7]:

$$\eta_G = \frac{P_G}{P_H} \cdot 100\% \quad (5)$$

Dimana :

η_G = Efisiensi Generator

P_G = Daya generator

P_H = Daya Hidrolis

Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin adalah kemampuan dari suatu mesin turbin untuk menghasilkan daya dimana daya yang dihasilkan dibagi dengan kinerja mesin turbin [8]:

$$\text{Efisiensi Turbin } (\eta_t) = \frac{P_t}{P_H} \times 100\% \quad (6)$$

Dimana :

η_t = Efisiensi Turbin

P_t = Daya mekanik

P_H = Daya Hidrolis

Torsi

Torsi merupakan besarnya gaya yang bekerja pada suatu benda sehingga membuat benda tersebut berotasi. Untuk menghitung torsi menggunakan persamaan[9] :

$$\tau = I \times \alpha \quad (7)$$

Dimana :

I = momen inersia (Kgm^2)

α = Percepatan Sudut (rad/s^2)

τ = Torsi (Nm)

3. Metodologi

Alat & Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

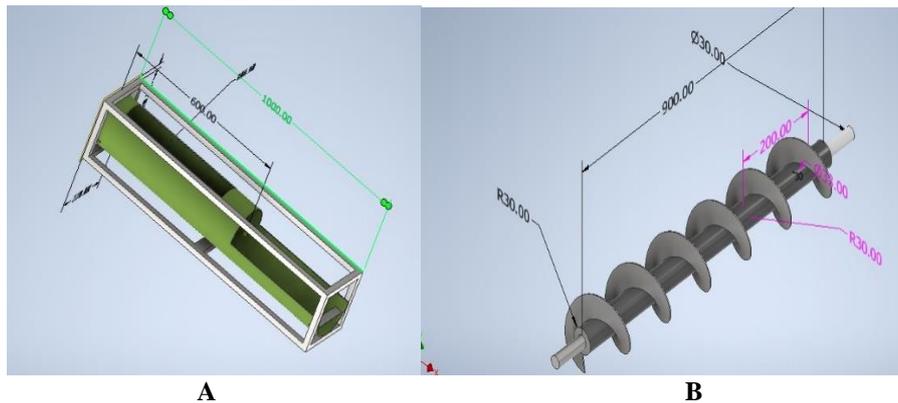
Tabel 1. Alat dalam penelitian

No	Alat	Spesifikasi
1	Lampu LED	8 watt
2	Test pen	-
3	Roll meter	5 meter
4	Tacho meter	Rotor bergigi
5	Busur derajat	180°
6	Avometer	Digital
7	Generator DC	300 watt
8	Pompa air shimizu	ps 128

Tabel 2. Bahan dalam Penelitian

No	Bahan	Spesifikasi
1	Turbin <i>Archimedes screw</i>	-
2	Pipa Besi	1 inch dan 2 inch
3	Plat galvanis	2mm
4	Besi <i>hollow</i>	ukuran 2x2 cm dan 4x4 cm
5	Bak	ukuran 80 cm x 40 cm x 50 cm
6	ball valve	diameter 2"
7	Cat dan Tinner	Dana paint dan Tinner A
8	<i>Bearing</i> dan <i>block</i>	6004 SKF
9	Saklar	mcb std
10	<i>Pulley</i>	diameter 2 inch
11	Baut	ukuran 12, 10, dan 14
12	Selang pompa	diameter 4 inch

Perencanaan PLTMH



Gambar 1. A. *Housing Turbin Archimedes Screw*; B. *Turbin Archimedes Screw*

Tabel 3. Spesifikasi dari PLTMH Turbin *Archimedes Screw*

Spesifikasi	Parameter
Bahan poros utama	Pipa Besi 1 inchi
Bahan poros ulir	Pipa besi 2 inchi
Bahan sudu & <i>housing</i> turbin	Plat galvanis 2 mm
Sudut sudu	22°
Berat turbin	6 kg
Panjang turbin	1 m
Tinggi sudu turbin	5 cm
Jumlah sudu	6 buah
Diameter turbin	16 cm
<i>Pitch ratio</i>	150 mm
<i>Rangka housing hollow</i>	4x4 cm

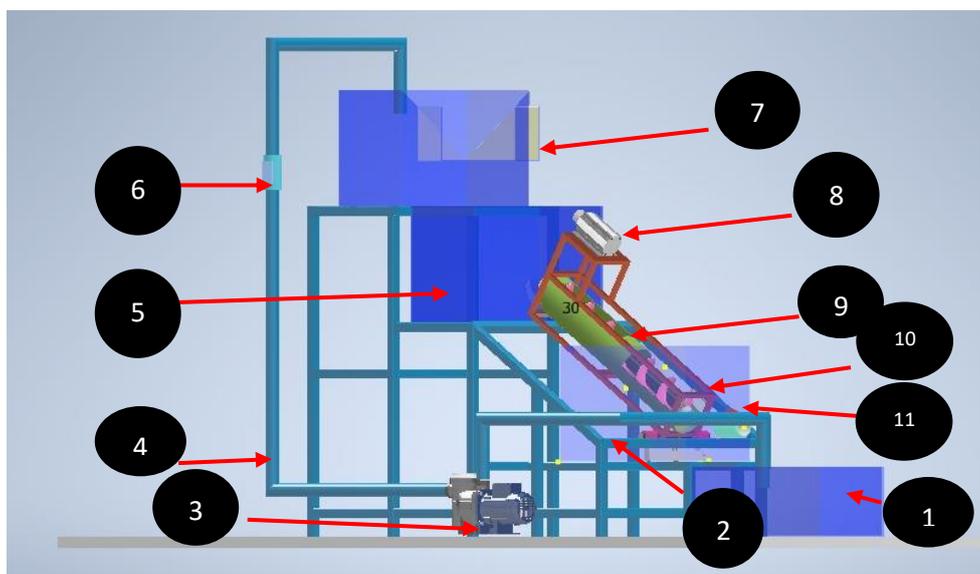
Prosedur Kerja

Persiapan alat dan bahan

Persiapan ini dimulai dari pembuatan daftar alat dan bahan, lalu penentuan besaran harga alat dan bahan, dan melakukan pembelian terhadap alat dan bahan.

Pembuatan *prototype* dan turbin *archimedes screw*

Pembuatan *prototype* dan turbin dilakukan di laboratorium manufaktur Teknik Mesin Universitas Lambung Mangkurat. Proses pembuatan ini meliputi proses pengelasan, kerja bangku, dan perakitan *prototype* dan turbin.



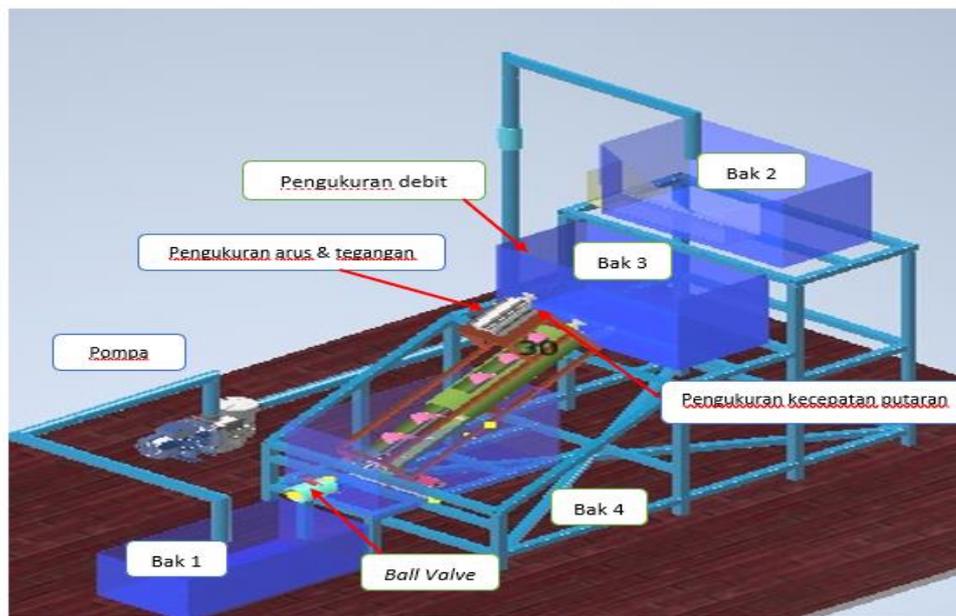
Gambar 2. *Prototype PLTMH Dengan Turbin Archimedes screw*

Keterangan :

1. Bak penampungan air 1
2. Pipa hisap
3. Pompa
4. Pipa penyalur air
5. Bak penampungan air 3
6. *Ball valve*
7. Bak penampungan air 2
8. Generator DC
9. Housing turbin *Archimedes screw*
10. Turbin *Archimedes screw*
11. Bak penampungan air 4

Pengujian eksperimental

Pengujian eksperimental meliputi variabel level rendaman turbin sebesar 0,3 I, kemiringan turbin 30° dan dengan variasi debit aliran 1 liter/detik, 1,5 liter/ detik, dan 2 liter/ detik. Air yang memasuki turbin kemudian mengalir kebawah menuju bak 4 disini sudut kemiringan tetap sebesar 30° , pada bak penampungan air 4 ini terdapat saluran buang menuju bak 1 berupa *ball valve* yang berguna untuk menstabilkan rendaman air yang merendam turbin tetap terjaga pada kondisi yang diinginkan sebesar 0,3 I di bagian bawah turbin yang terendam. Kemudian air yang melalui *ball valve* tersebut kembali menuju kedalam bak penampungan air 1.



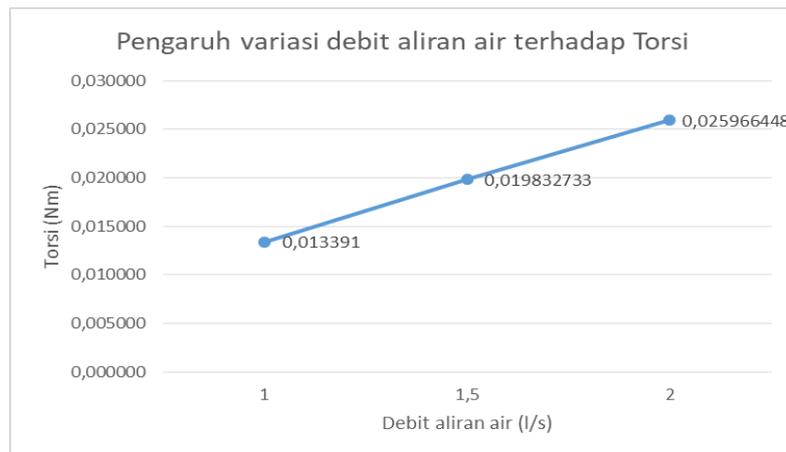
Gambar 3. Skema Pengujian Debit Aliran Air Pada PLTMH

Pengambilan data eksperimental

Pengambilan data pengujian berupa kecepatan putaran turbin (rpm), tegangan (V), dan arus listrik (A) dilakukan sebanyak 5 kali. Pengambilan data kecepatan putaran turbin (rpm) diukur dengan menggunakan *tachometer* rotor bergigi. Pengukuran dengan *tachometer* ini dilakukan pada turbin generator, sebelum *tachometer* digunakan *tachometer* tersebut dikalibrasi terlebih dahulu dan kemudian pengukuran dilakukan pada *pulley* generator pada saat debit aliran 1 liter/detik, 1,5 liter/ detik, dan 2 liter/ detik yang mana masing-masing dilakukan sebanyak 5 kali guna mendapatkan hasil yang lebih akurat dan mengurangi *error*.

Pengambilan data tegangan (V) dan arus listrik (I) diukur dengan menggunakan *Avometer* digital. Untuk mengukur data tegangan *knob selector* diputar ke arah pengukuran tegangan atau yang menunjukkan lambang volt kemudian hubungkan kabel portabel dengan kutub objek kemudian liat hasilnya melalui *display*. Pengukuran arus listrik dengan menggunakan *Avometer* juga sama dengan pengukuran tegangan, namun bedanya *knob selector* diputar ke arah pengukuran arus listrik atau yang menunjukkan lambang ampere.

4. Hasil Dan Pembahasan Hasil Perhitungan Torsi

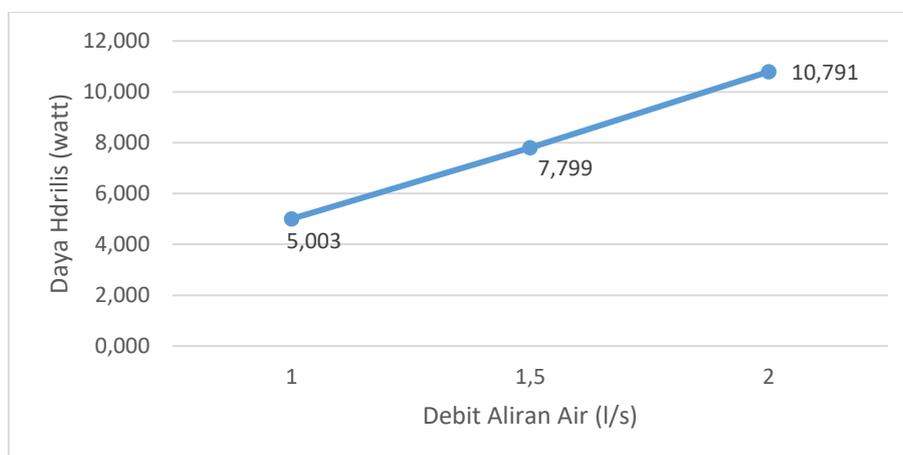


Gambar 4. Pengaruh Variasi Debit Aliran Air Terhadap Torsi

Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat bahwa torsi terbesar terjadi pada saat debit aliran air sebesar 2 l/s yaitu sebesar 0,025966448 Nm, pada saat debit 1,5 l/s menghasilkan torsi sebesar 0,0192832733 Nm dan torsi terkecil terjadi pada saat debit aliran air 1 l/s yaitu 0,013391 Nm. Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa torsi (T) dipengaruhi oleh besar kecilnya debit aliran air (Q) semakin besar debit aliran air (Q) yang menabrak sudu turbin Archimedes screw maka torsi (T) yang dihasilkan juga semakin besar dikarenakan meningkatnya debit aliran air juga meningkatkan daya turbin mempengaruhi torsi turbin [8].

Pada penelitian sebelumnya mampu menghasilkan torsi sebesar 0,73 Nm dan torsi terendah 0,25 Nm sedangkan pada penelitian ini torsi terbesar 0,025966448 Nm. Dari penelitian sebelumnya dan penelitian ini dapat dilihat bahwa besarnya debit aliran yang digunakan mempengaruhi torsi semakin besar debit aliran air yang digunakan maka torsi yang dihasilkan juga semakin besar [4].

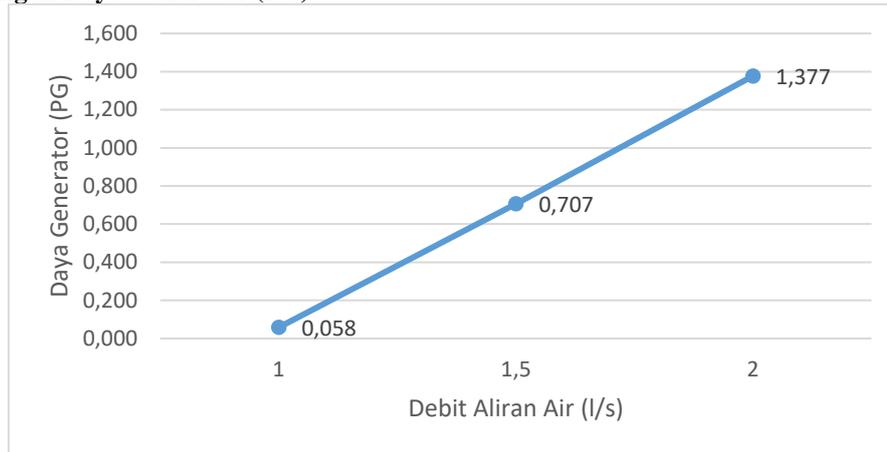
Hasil Perhitungan Daya Hidrolis (pH)



Gambar 5. Pengaruh Variasi Debit Aliran Air Terhadap Daya Hidrolis

Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat bahwa daya hidrolis terbesar terjadi pada saat debit aliran air sebesar 2 l/s yaitu sebesar 10,791 watt, pada saat debit 1,5 l/s menghasilkan daya hidrolis sebesar 7,799 watt dan daya hidrolis terkecil terjadi pada saat debit aliran air 1 l/s yaitu 5,003 watt. Dari grafik diatas menunjukkan bahwa besarnya daya hidrolis (Ph) dipengaruhi oleh besarnya debit aliran air (Q), semakin besar debit aliran air semakin besar pula daya hidrolis yang dihasilkan. Sebaliknya semakin kecil debit aliran (Q) yang digunakan maka daya hidrolis (Ph) yang dihasilkan juga kecil [10].

Hasil Perhitungan Daya Generator (PG)

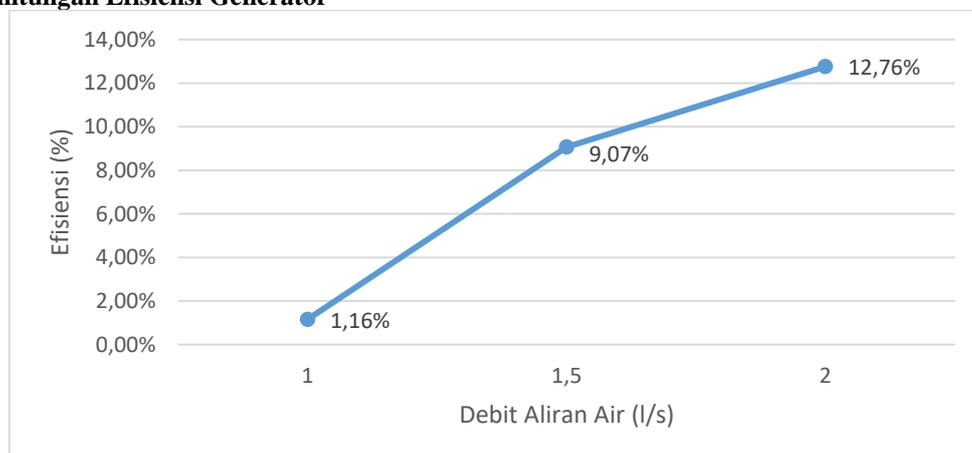


Gambar 6. Pengaruh Variasi Debit Aliran Air Terhadap Daya Generator

Berdasarkan Gambar 6 dapat dilihat bahwa daya generator terbesar terjadi pada saat debit aliran air sebesar 2 l/s yaitu sebesar 1,377 watt, pada saat debit 1,5 l/s menghasilkan daya generator sebesar 0,707 watt dan daya generator terkecil terjadi pada saat debit aliran air 1 l/s yaitu 0,058 watt. Dari grafik diatas dapat diambil kesimpulan, variasi debit aliran air (Q) mempengaruhi hasil dari daya generator (PG) dimana semakin besar nilai debit aliran air (Q) yang digunakan maka hasil daya generator (PG) juga semakin besar. Semakin besar nilai tegangan (V) dan kuat arus (I) maka semakin besar hasil daya generator (PG), karena nilai tegangan (V) dan kuat arus (I) berbanding lurus dengan nilai daya generator (PG).

Pada penelitian sebelumnya mampu untuk menghasilkan daya generator terendah 1,36 watt dan daya generator tertinggi sebesar 16,85 watt. Perbandingan hasil pada penelitian ini dan sebelumnya terbilang sangat jauh, ini disebabkan karena pada penelitian sebelumnya menggunakan debit aliran air terendah 4,4 l/s dan debit aliran air tertinggi 7,1 l/s sehingga tegangan dan kuat arus dan dihasilkan lebih besar karena tegangan dan kuat arus berbanding lurus dengan daya generator sehingga hasil daya generator penelitian sebelumnya lebih mampu menghasilkan daya sebesar 16,85 watt [4].

Hasil Perhitungan Efisiensi Generator



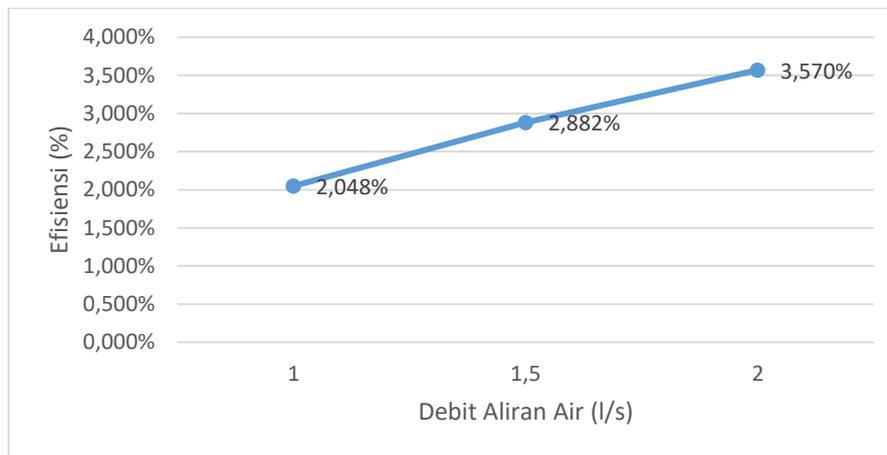
Gambar 7. Grafik pengaruh variasi debit aliran air terhadap efisiensi generator

Berdasarkan Gambar 7 dapat dilihat bahwa efisiensi terbesar terjadi pada saat debit aliran air sebesar 2 l/s yaitu sebesar 12,76%, pada saat debit 1,5 l/s menghasilkan efisiensi sebesar 9,07% dan efisiensi terkecil terjadi pada saat debit aliran air 1 l/s yaitu 1,16%. Dari grafik diatas dapat diambil kesimpulan, semakin besar debit aliran air (Q) maka semakin besar pula efisiensi (η) yang dihasilkan, sebaliknya semakin kecil debit aliran air(Q) maka semakin kecil pula efisiensi yang dihasilkan. Efisiensi (η) dipengaruhi oleh daya hidrolis (P_H) dan daya generator (P_G).Semakin besar debit aliran air (Q) yang digunakan, gaya dorong dari aliran air (Q) akan semakin besar sehingga daya hidrolis (P_H) yang dihasilkan juga semakin besar yang menyebabkan daya generator (P_G) semakin meningkat sehingga efisiensi (η) yang diperoleh besar [4].

Pada grafik debit aliran air 1 l/s ke 1,5 l/s lebih jauh melonjak daripada 1,5 l/s ke 2 l/s dikarenakan saluran buang pada bak penampungan air ke-4 yang berfungsi sebagai pengukuran variabel level rendaman lebih cepat melakukan pembuangan air kembali ke penampungan air 1, sehingga level rendaman yang terjadi kurang sesuai

dengan variabel rendaman yang diinginkan serta dengan air yang tidak tenang membuat level rendaman kurang stabil dari yang diinginkan. Akibatnya hasil pada pengukuran kuat arus pada debit aliran air 1 l/s adalah 0,0132 *ampere* sedangkan hasil pengukuran kuat arus pada debit aliran air 1,5 l/s adalah 0,1176 *ampere* dan pada debit aliran air 2 l/s kuat arusnya adalah 0,1578 *ampere*. Sehingga selisih kuat arus dari 1 l/s ke 1,5 l/s adalah 0,0132 *ampere* sedangkan selisih kuat arus dari 1,5 l/s ke 2 l/s adalah 0,042 *ampere*. Hasil inilah yang akhirnya berimbas pada efisiensi dari 1 l/s ke 1,5 l/s terjadi lonjakan yang cukup jauh daripada 1,5 l/s ke 2 l/s.

Hasil Perhitungan Efisiensi Turbin



Gambar 8. Grafik pengaruh variasi debit aliran air terhadap efisiensi turbin

Berdasarkan Gambar 8 dapat dilihat bahwa efisiensi terbesar terjadi pada saat debit aliran air sebesar 2 l/s yaitu sebesar 3,570%, pada saat debit 1,5 l/s menghasilkan efisiensi sebesar 2,882% dan efisiensi terkecil terjadi pada saat debit aliran air 1 l/s yaitu 2,048%. Dari grafik diatas dapat diambil kesimpulan, semakin besar debit aliran air (Q) maka semakin besar pula efisiensi (η) yang dihasilkan, sebaliknya semakin kecil debit aliran air (Q) maka semakin kecil pula efisiensi yang dihasilkan. Efisiensi (η) dipengaruhi oleh daya turbin (P_T), semakin besar debit aliran air (Q), maka akan semakin besar daya turbinnya (P_T) dimana daya turbin (P_T) dipengaruhi oleh kecepatan sudut (ω) dan torsi (τ). Semakin besar debit aliran air (Q) yang menabrak sudu turbin maka semakin besar nilai kecepatan sudut (ω) dan torsi (τ) turbin yang dihasilkan sehingga daya turbin (P_T) yang dihasilkan juga semakin besar [10].

Pada penelitian sebelumnya mampu menghasilkan efisiensi turbin tertinggi sebesar 18,1% dan efisiensi terendah 6,2%. Efisiensi tertinggi dengan menggunakan debit aliran air sebesar 7,1 l/s, sedangkan pada efisiensi terendah menggunakan debit aliran air 5 l/s. Perbedaan hasil efisiensi pada penelitian ini dengan penelitian sebelumnya sangat jauh sekali dikarenakan perbedaan debit aliran yang digunakan pada penelitian ini lebih kecil daripada debit aliran air yang digunakan pada penelitian sebelumnya sehingga efisiensi yang dihasilkan juga jauh berbeda. Dari hasil penelitian ini dan sebelumnya didapatkan kesimpulan bahwa semakin besar debit aliran yang digunakan maka efisiensi turbin yang dihasilkan juga besar sebaliknya semakin kecil debit aliran yang digunakan maka efisiensi turbin yang dihasilkan juga kecil, karena efisiensi turbin bergantung dari daya turbin dan daya turbin dipengaruhi oleh kecepatan sudut dan juga torsi turbin. Semakin besar debit aliran air yang menabrak sudu turbin maka semakin besar nilai kecepatan sudut dan torsi turbin yang dihasilkan sehingga daya turbin yang dihasilkan juga semakin besar.

5. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan pengolahan data Pengaruh Variasi Debit Aliran air Terhadap kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro dengan menggunakan Turbin Archimedes Screw didapat bahwa variasi debit aliran air (Q) berpengaruh terhadap besaran nilai torsi (T) yang dihasilkan, dimana besaran nilai torsi (T) berbanding lurus terhadap besarnya debit aliran air (Q), kemudian variasi debit aliran air (Q) berpengaruh terhadap daya hidrolis (PH) dan daya generator (PG) yang dihasilkan, dimana semakin besar debit aliran air (Q) berbanding lurus dengan daya hidrolis (PH) dan daya generator (PG) yang dihasilkan, dan hal ini juga berpengaruh terhadap Efisiensi Generator, dimana besarnya debit aliran air (Q) yang digunakan, berbanding lurus dengan efisiensi generator yang dihasilkan.

Daftar Pustaka

- [1] 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*, 3(1), 57-64.
- [2] Songin, K. (2017). Experimental Analysis of Archimedes Screw Turbines. *University of Guelph*.
- [3] Krishnastana, M. A., Jasa, L., & Weking, A. I. (2018). Studi Analisis Perubahan Debit dan Tekanan Air Pada Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro, Vol. 17, No. 2, 17(2)*, 257-262.
- [4] Putra, I. G., Weking, A. I., & Jasa, L. (2018). Analisa Pengaruh Tekanan Air Terhadap Kinerja PLTMH dengan Menggunakan Turbin Archimedes Screw. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro, Vol. 17, No. 3*, 385-392.
- [5] Munthe, A., & Rahmawaty. (2015). Pengujian Unjuk Kerja Turbin Crossflow Skala Laboratorium Dengan Jumlah Sudu 24. *Sekolah Tinggi Teknik Harapan Medan*, 1-13.
- [6] Syahputra, T. M., Syukri, M., & Sara, I. D. (2017). Rancang Bangun Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hydro Dengan Menggunakan Turbin Ulir. *KITEKTRO: Jurnal Online Teknik Elektro*, 16-22.
- [7] Sihaloho, D. L. (2017). Rancang Bangun Alat Uji Model Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Menggunakan Turbin Aliran Silang. *Universitas Lampung*, 1-78.
- [8] Muliawan, A., & Yani, A. (2016). Analisis Daya Dan Efisiensi Turbin Air Kinetis Akibat Perubahan Putaran Runner. *Journal of Sainstek*, 1-9.
- [9] Yogasmara, Q. (2017). Perancangan Pulley dan Sabuk Pada Mesin Mixer Garam Bleng. *vol. 87 no. 1,2*, 149-200.
- [10] Shalahuddin, N. A., Himawanto, D. A., & Widodo, P. J. (2020). Pengaruh Kemiringan Poros Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Ulir Archimedes Piko Hidro. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 43-46.