

ANALISIS EKSPERIMENTAL TURBIN PELTON SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK MIKRO HIDRO DENGAN VARIASI NOZZLE

Vito Cristianto Niti Sumita¹⁾, Steven Darmawan²⁾, Rosehan³⁾

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Tarumanagara

e-mail: ¹⁾vito.515190028@stu.untar.ac.id, ²⁾stevend@ft.untar.ac.id, ³⁾rosehan@ft.untar.ac.id

Abstract: *Microhydro Power Plant is a small-scale power plant that utilizes river water flow to drive turbines. Some hydropower systems can be classified as microhydro if the generated energy capacity is below 100 kW [4]. The goal to be achieved from this pelton turbine research with nozzle variations is to determine the effect of nozzle size on flow discharge, torque and turbine rotation speed on pelton turbines. Pelton turbine research for this laboratory scale was carried out at the Heat and Heat Transfer Laboratory. In the first test, the water discharge was 50 l/min which produced a shaft rotation of 102 rpm. The minimum power generated at a discharge of 50 l/min (0.00083m³/s) occurred at a shaft speed of 102 rpm of 11.7 watts. Turbine power is highly dependent on the amount of torque and angular velocity. While the angular velocity is influenced by the rotation of the turbine and the rotation of the turbine is very dependent on the mass of the flow that hits the turbine blades. In the first test, the turbine power was 11.7 watts which resulted in an efficiency of 8%.*

Keywords: *Pelton Turbine, Nozzle, Torque, efficiency*

PENDAHULUAN

Negara Indonesia memiliki letak yang strategis yaitu terletak digaris khatulistiwa. Keberadaan wilayah negara Indonesia yang beragam sumber energi alternatif dapat dimanfaatkan, menjadi tantangan untuk melakukan penelitian agar mendapatkan sumber energi alternatif yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat [1]. Terdapat banyak kepulauan di negara Indonesia yang berpotensi menjadi sumber energi tenaga air [2].

Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) memiliki prinsip bahwa air jatuh dan mengalir mempunyai sejumlah potensi energi kinetik. Lalu melalui turbin atau kincir air mengubah energi dalam air mengalir menjadikan tenaga air, berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik [3]. Masyarakat secara luas sudah memanfaatkan energi potensial air dan digunakan untuk pembangkit listrik. Energi listrik tenaga air ataupun mikro hidro menggunakan potensi air sebagai penyedia utama energi [4].

Energi merupakan hal yang penting bagi kehidupan manusia, energi dari skala mikro hidro dibutuhkan karena sumber energi yang bersih, berkelanjutan dan terbarukan [5]. PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro) merupakan suatu pembangkit listrik skala kecil yang memanfaatkan aliran air sungai untuk menggerakkan turbin. Beberapa sistem tenaga air dapat diklasifikasikan sebagai mikro hidro jika kapasitas pembangkit dari energi tersebut berada di bawah 100 kW [6].

Dalam PLTA, turbin air dan generator merupakan peralatan utama. Turbin impuls dan turbin reaksi merupakan dua kelompok dari turbin air. Turbin *pelton* merupakan jenis turbin yang sering digunakan di PLTA dan turbin *pelton* merupakan jenis turbin air tipe impuls [7]. Cara kerja dari turbin *pelton* yaitu air mengalir dari nosel dengan energi kinetik tingkat tinggi yang berada di sepanjang saluran air, pada saat semburan air bersentuhan dengan *bucket*, maka *bucket* akan terdorong akibat semburan air tersebut dan disebut gaya impuls. Nosel yang diaplikasikan pada *penstock* dilengkapi dengan *spear* atau *needle*, yang berfungsi untuk mengontrol kuantitas air yang mengenai *runner*.

Dalam proses ini, momentum air dialirkan ke turbin. Turbin yang berputar akibat momentum air disebut dengan gaya impuls. *Bucket* yang berbentuk *ellipsoidal* ganda membuat semburan air menjadi dua jumlah yang sama, berguna untuk menyeimbangkan

roda. Efisiensi dan daya maksimum, turbin dirancang dengan tepat sehingga kecepatan pancaran air dua kali lipat dari *bucket* [8]. Sudut kemiringan nosel disarankan 90° dari poros sudu karena pada sudut nosel yang disarankan, semburan air dapat mengenai sudu turbin secara sempurna dan tidak menyebabkan perlambatan.

Pemodelan turbin impuls jauh lebih sulit dibandingkan dengan turbin reaksi karena aliran permukaan bebas dua fase yang kompleks, tidak stabil, dan bebas yang dikembangkan oleh interaksi antara ember impeler, jet air yang mentransfer impuls, dan udara di dalam rumah turbin. Fenomena aliran yang kompleks meliputi pemisahan aliran dan kavitasi di area tumbukan jet pada sudu dan di mana ember turbin memotong jet air yang menumbuk. Degradasi permukaan jet air saat melewati udara setelah meninggalkan nosel air adalah jenis fenomena lain yang sulit untuk dianalisis tetapi memiliki efek pada kinerja turbin. Tetesan air di dalam rumah turbin juga dapat mempengaruhi pancaran air dan mengubah jumlah energi kinetik yang ditransfer ke impeler. Keseragaman aliran air diubah oleh tikungan di pipa tepat di hulu pintu masuk nosel yang menyebabkan semburan air berubah bentuk [9].

Masalah yang teridentifikasi dari analisis eksperimental turbin *pelton* dengan nosel yang bervariasi adalah pengaruh nosel yang bervariasi terhadap debit aliran, kecepatan putaran dan torsi pada turbin *pelton*

Rumusan masalah yang dapat diambil dari analisis eksperimental turbin *pelton* dengan nosel yang bervariasi adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh ukuran nosel terhadap debit aliran yang dikeluarkan?
2. Bagaimana pengaruh tinggi jatuh air (*head*) terhadap kecepatan putaran (RPM) turbin?
3. Bagaimana pengaruh ukuran nosel terhadap torsi pada turbin *pelton*?

Batasan masalah yang dapat diambil dari analisis eksperimental turbin *pelton* dengan nosel yang bervariasi, yaitu:

1. Variasi ukuran diameter nosel yang digunakan 15 mm
2. Debit aliran air (Q) yang mengalir sebesar 275 liter/menit
3. Ketinggian *head* (H) pada alat adalah 18,9 m

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian turbin *pelton* dengan variasi nosel ini, yaitu:

1. Menghasilkan variasi nosel dengan diameter 15 mm pada sistem turbin *pelton*
2. Menghasilkan atau menganalisis unjuk kerja sistem turbin *pelton* dengan variasi nosel 15 mm

Adapun manfaat dari penelitian terhadap variasi nosel pada analisis eksperimental turbin *pelton*, yaitu:

1. Sebagai pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi terutama dalam bidang konversi energi.
2. Memberikan informasi ilmiah mengenai unjuk kerja turbin *pelton* dengan variasi nosel.
3. Untuk keperluan praktikum

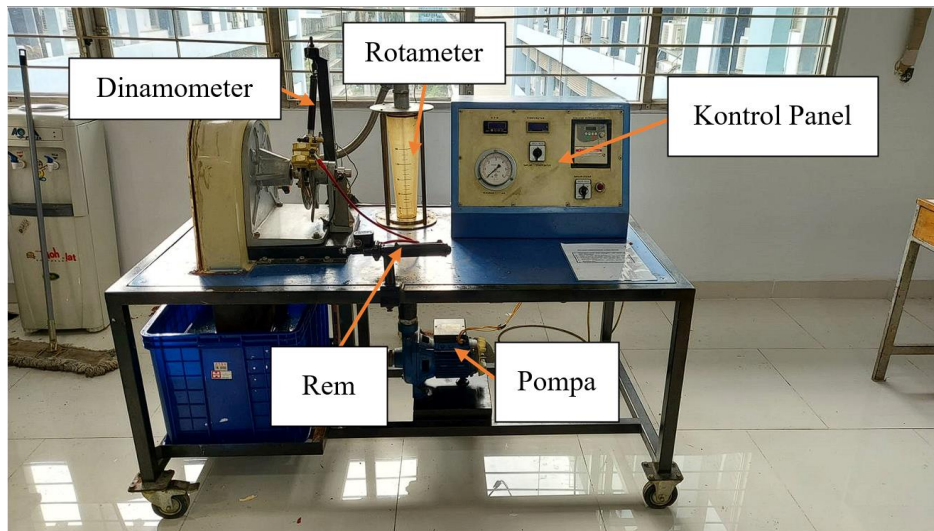
METODE PENELITIAN

Bahan Penelitian

Peralatan yang digunakan dari penelitian turbin *pelton* sebagai pembangkit listrik tenaga mikro hidro dengan nosel yang bervariasi, antara lain:

- | | | |
|------------------|-----------------|-----------|
| 1. Dinamometer | 4. Rem | 7. Poros |
| 2. Rotameter | 5. Pompa | 8. Nozzle |
| 3. Kontrol Panel | 6. Rumah Turbin | 9. Sudu |

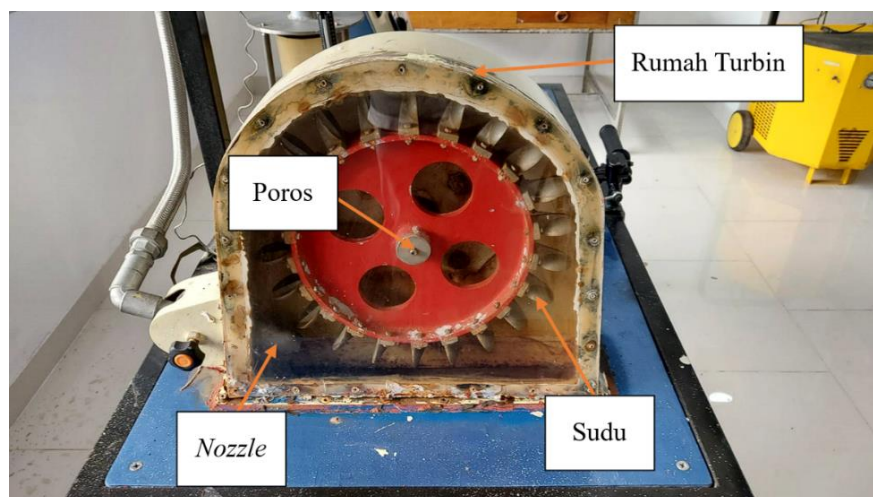
Berikut merupakan gambar alat eksperimental dari penelitian turbin *pelton* sebagai pembangkit listrik tenaga mikro hidro dengan nosel yang bervariasi.



Gambar 1. Turbin Pelton Skala Lab



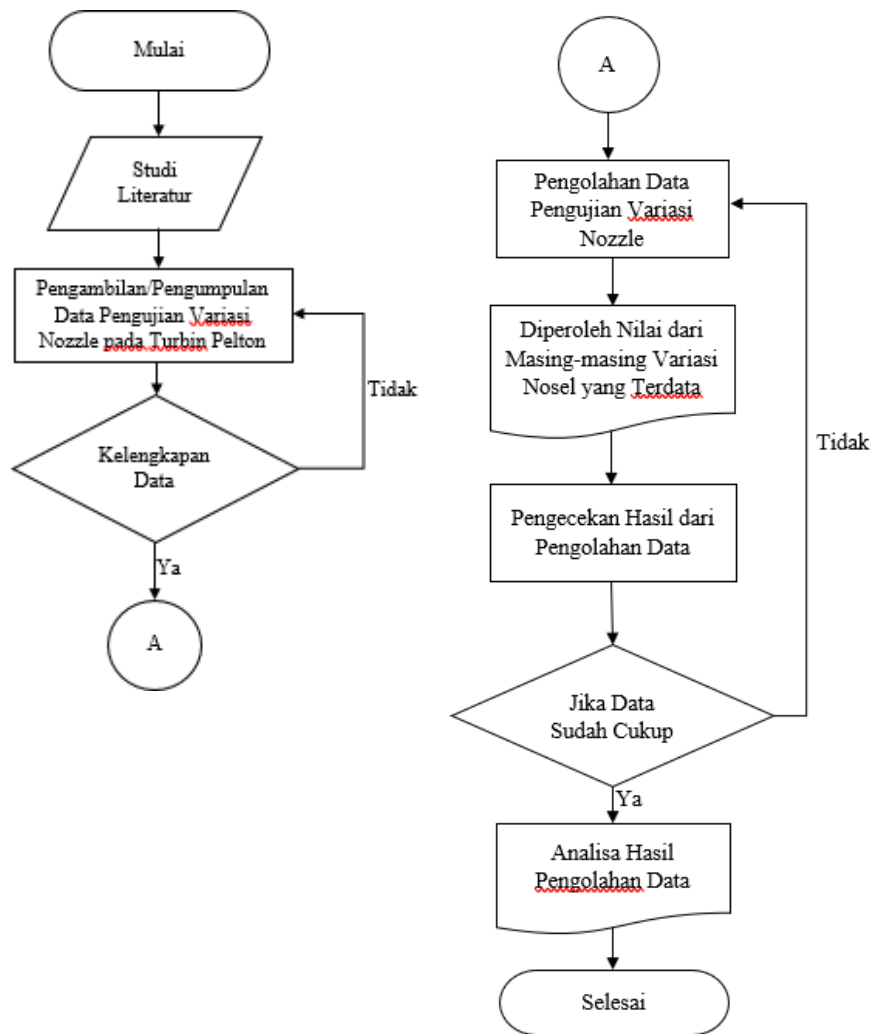
Gambar 2. Sudu Turbin



Gambar 3. Rumah Turbin

Metode Pengambilan Data

Penelitian turbin *pelton* untuk skala laboratorium ini dilakukan di Laboratorium Perpindahan Panas dan Kalor Universitas Tarumanagara. Berikut merupakan diagram alir penelitian dari analisis eksperimental turbin *pelton* sebagai pembangkit listrik tenaga mikro hidro dengan variasi nosel.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

Spesifikasi Sistem

Tabel di bawah merupakan spesifikasi dari turbin pelton.

Tabel 1. Spesifikasi Sistem

Spesifikasi Sistem	
Diameter Nosel	15 mm
Beban	0,5 kg
Debit Aliran Air	50 l/m
Jari-jari Poros	0,22 m
Massa Jenis Air	1000 kg/m ³
Gravitasi	9,81 m/s ²
Putaran Poros	102 RPM

Prosedur Pengambilan dan Pengolahan Data

Penelitian ini dilakukan prosedur eksperimental untuk pengambilan data sebelum dan sesudah dilakukan pembaruan. Eksperimental pada diameter nosel yang bervariasi untuk menentukan daya dan efisiensi yang dihasilkan paling optimum. Berikut adalah prosedur eksperimental dalam laboratorium.

1. Pengambilan Data Awal

Pengambilan data awal dilakukan sebelum pembaruan terhadap variasi diameter nosel. Nosel yang digunakan merupakan nosel awal dari laboratorium yang berdiameter 15 mm.

Pengambilan data eksperimental yang diambil merupakan kecepatan putaran pompa, temperatur, torsi (T), daya dan efisiensi dari turbin yang dihasilkan.

2. Variasi Nozzle yang Digunakan

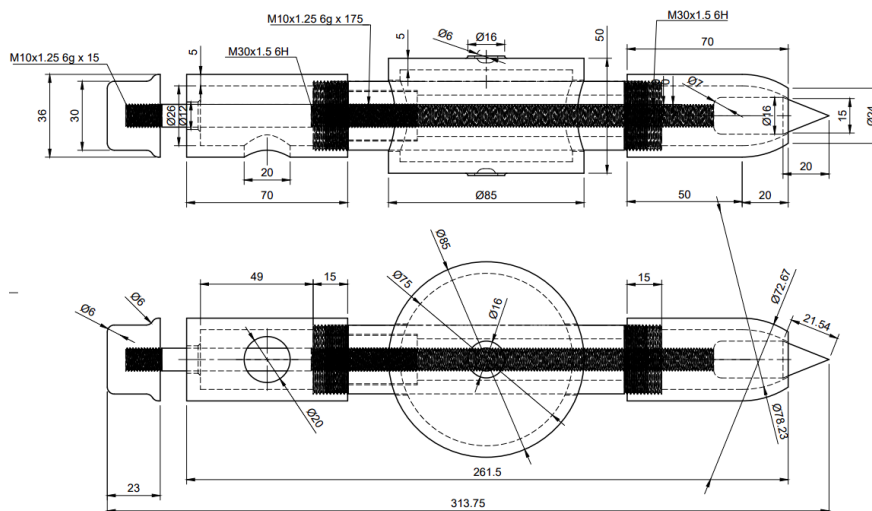
Variasi diameter nosel yang digunakan sebelum dan sesudah dilakukan pembaruan nosel dalam penelitian ini. Variasi diameter nosel yang digunakan sebesar 15 mm. Nosel yang baru menggunakan material aluminium 6061. Proses penyambungan nosel dilakukan dengan cara dengan pembuatan ulir pada bagian nosel dan pipa penyambung. Hal ini mempermudah proses penggantian nosel tanpa perlu pemasangan permanen.

3. Pengambilan Data Akhir

Dalam pengambilan data akhir dilakukan sesudah diganti dengan nosel yang bervariasi. Pengambilan data yang diambil juga sama dengan variabel dengan pengambilan data awal, seperti kecepatan putaran pompa, temperatur, torsi (T), daya dan efisiensi yang dihasilkan dari turbin pelton.

Desain Drawing Nosel

Di bawah ini merupakan gambar *computer aided design* dari *full body* nosel yang berdiameter 15 mm.



Gambar 5. Drawing Full Body Nosel

Persamaan yang Digunakan

1. Luas Penampang Ujung Nosel

$$A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \quad (1)$$

Dengan:

A = Luasan ujung nosel (m^2)

d = Diameter dalam nosel (m)

2. Kecepatan Aliran

$$v = \frac{Q}{A} \quad (2)$$

Dengan:

v = Kecepatan aliran (m/s)

Q = Debit aliran air (m^3/s)

A = Luasan ujung nosel (m^2)

3. Kecepatan Angular atau Tangensial

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \quad (3)$$

Dengan:

ω = Kecepatan angular dan tangensial (rad/s)

n = Putaran turbin (RPM)

4. Gaya

$$F = m \cdot g \quad (4)$$

Dengan :

F = Gaya (N)

m = Beban (kg)

g = Gravitasi (9,81 m/s)

5. Torsi

$$T = F \cdot r \quad (5)$$

Dengan:

T = Torsi (N.m)

F = Gaya (N)

r = Lengan atau jari-jari (m)

6. Daya Turbin

$$P_{tP} = T \cdot \omega \quad (6)$$

Dimana:

P_{tP} = Daya Turbin *Pelton* (Watt)

T = Torsi Turbin *Pelton* (N.m)

ω = Kecepatan Sudut Runner Turbin *Pelton* (rad/s)

7. Daya Air

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (7)$$

Dimana:

P_a = Daya Air (Watt)

ρ = Massa Jenis Air (kg/m^3)

A = Luas Penampang Nosel (m^2)

V = Kecepatan Air (m/s)

8. Efisiensi Turbin

$$\eta_t = \frac{P_{tP}}{P_a} \times 100\% \quad (8)$$

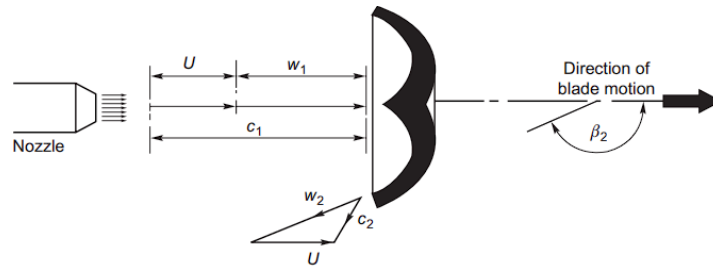
Dimana:

η_t = Efisiensi Turbin

P_{tP} = Daya Turbin *Pelton* (Watt)

P_a = Daya Air (Watt)

Rotor terdiri dari piringan melingkar dengan sejumlah sudu yang ditempatkan di sekelilingnya. nosel dipasang sedemikian rupa sehingga setiap nosel mengarahkan semburannya sepanjang garis singgung ke lingkaran melalui pusat-pusat ember. Sebuah "splitter" atau punggungan membagi jet yang datang menjadi dua aliran yang sama sehingga, setelah mengalir di sekitar permukaan bagian dalam ember, kedua aliran tersebut meninggalkan ember dengan arah yang hampir berlawanan dengan jet yang masuk.



Gambar 6. Roda Pelton yang menunjukkan jet yang menabrak ember dan kecepatan relatif dan absolut dari aliran

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Manufaktur

Berikut merupakan hasil manufaktur nosel yang berdiameter 15 mm.



Gambar 7. Full Body Nosel diameter 15 mm

Pengolahan Data

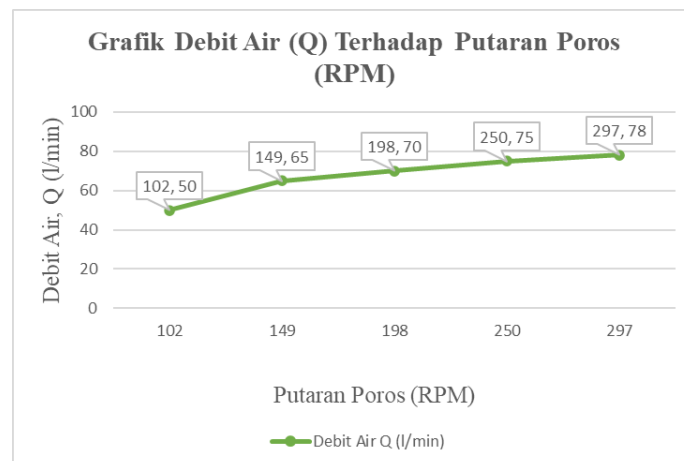
Putaran Poros (RPM)	Luas Penampang Nosel (m ²)	Kecepatan Aliran (m/s)	Kecepatan Angular/Tangensial (rad/s)	Gaya (N)	Torsi (N.m)	Daya Turbin (watt)	Daya Hidrolik (watt)	Efisiensi (%)
102	0.00017	4,88	10,68	4,9	1,1	11,7	139,1	8
149		6,35	15,6	9,8	2,1	32,8	178,9	18
198		6,88	20,7	14,7	3,2	66,2	192,6	34
250		7,35	26,2	19,6	4,3	112,6	202,1	55
297		7,64	31,1	24,5	5,4	167,9	205,1	81

Hasil Penelitian

Tabel 2. Hasil Penelitian

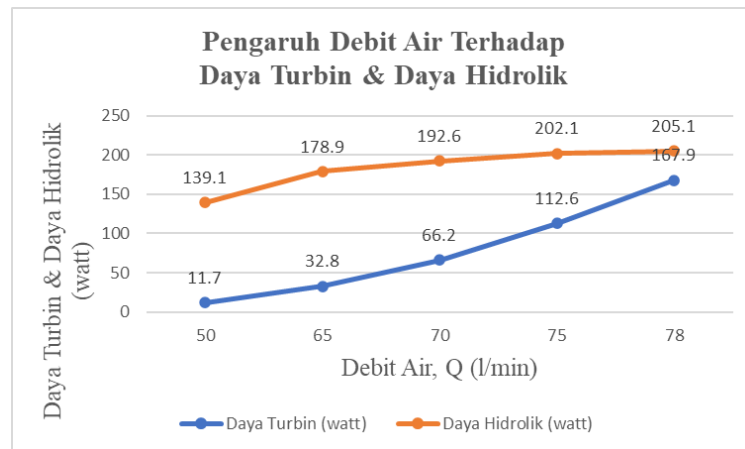
Kecepatan Aliran (m/s)	Gaya (N)	Torsi (N.m)	Daya Turbin (watt)	Daya Hidrolik (watt)	Efisiensi Turbin (%)
4,88	4,9	1,1	11,7	139,1	8

Pada Gambar 8 menunjukkan kecenderungan yang normal, yang di mana semakin besar debit air yang masuk ke turbin maka semakin besar putaran poros. Pada pengujian pertama, debit air 50 l/min yang menghasilkan putaran poros sebesar 102 rpm.



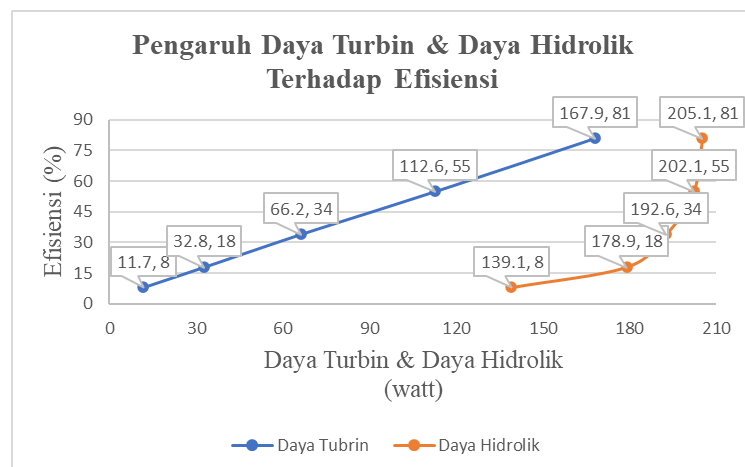
Gambar 8. Grafik Debit Air Terhadap Putaran Poros

Putaran poros yang diciptakan oleh debit air akan menghasilkan daya, dapat dilihat pada Gambar 9 daya minimum dihasilkan pada debit 50 l/min ($0,00083\text{m}^3/\text{s}$) terjadi pada kecepatan poros 102 rpm sebesar 11,7 watt.



Gambar 9. Grafik Debit Air Terhadap Daya Turbin & Daya Hidrolik

Dari Gambar 10 dapat dilihat semakin besar daya yang dihasilkan turbin maka efisiensi dari turbin semakin besar, hal ini sangat berpengaruh terhadap daya mekanik yang dihasilkan oleh poros turbin dan tentunya berpengaruh terhadap efisiensi turbin itu sendiri. Pada pengujian pertama daya turbin 11,7 watt yang menghasilkan efisiensi sebesar 8%.



Gambar 10. Grafik Debit Air Terhadap Daya Turbin & Daya Hidrolik

SIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan mengenai analisis eksperimental turbin *pelton* sebagai pembangkit listrik mikro hidro dengan variasi *nozzle* dapat ditarik beberapa kesimpulan, antara lain:

1. Di mana semakin besar debit air yang masuk ke turbin maka semakin besar putaran poros. Pada penelitian ini, debit air 50 l/min yang menghasilkan putaran poros sebesar 102 rpm
2. Daya turbin sangat tergantung pada besarnya torsi dan kecepatan anguler. Sedangkan kecepatan anguler dipengaruhi oleh putaran turbin dan putaran turbin sangat tergantung dari massa aliran yang menumbuk sudu turbin. Daya minimum dihasilkan pada debit 50 l/min ($0,00083\text{m}^3/\text{s}$) terjadi pada kecepatan poros 102 rpm sebesar 11,7 watt.
3. Semakin besar daya yang dihasilkan turbin maka efisiensi dari turbin semakin besar, pada penelitian ini, daya turbin 11,7 watt yang menghasilkan efisiensi sebesar 8%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. S. Simamora, “Perancangan Alat Uji Prestasi Turbin Pelton,” 2017.
- [2] A. Fahris Faizin *et al.*, “Perbaikan dan Modifikasi Turbin Air Pelton dengan Menggunakan Generator DC untuk Alat Praktikum di Laboratorium,” *Jurnal Baut dan Manufaktur*, vol. 02, no. 01, 2020.
- [3] Y. R. Pasalli and A. B. Rehiara, “Design Planning of Micro-hydro Power Plant in Hink River,” *Procedia Environ Sci*, vol. 20, pp. 55–63, 2014, doi: 10.1016/j.proenv.2014.03.009.
- [4] A. H. Ahrori, M. Kabib, and R. Wibowo, “Perancangan dan Simulasi Turbin Pelton Daya Output Generator 20.000 Watt,” Online, 2019.
- [5] J. A. Sardjono, S. Darmawan, H. Tanujaya, and J. A. Sardjono, “Flow investigation of cross-flow turbine using CFD method”, doi: 10.1088/1757-899X/1007/1/012035.
- [6] C. P. Jawahar and P. A. Michael, “A review on turbines for micro hydro power plant,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 72. Elsevier Ltd, pp. 882–887, 2017. doi: 10.1016/j.rser.2017.01.133.
- [7] O. Rafea Alomar, H. Maher Abd, M. M. Mohamed Salih, and F. Aziz Ali, “Performance analysis of Pelton turbine under different operating conditions: An experimental study,” *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 13, no. 4, Jun. 2022, doi: 10.1016/J.ASEJ.2021.101684.
- [8] “A Pelton Turbine (reference: energyeducation.ca),” Jan. 2021.
- [9] J. A. Matheny, “An Experimental Comparison of the Performance of Two Impulse Micro-Hydro Turbine Impellers,” 2016. [Online]. Available: <https://researchrepository.wvu.edu/etd/6174>