



**STUDI EXPERIMENTAL SKALA LABORATORIUM  
PERBANDINGAN DESAIN DIAMETER UJUNG *NOZZLE* LAMINAR  
TERHADAP KINERJA TURBIN PELTON**

**Shultoni Mahardika<sup>1</sup>, Indri ika Widyastuti<sup>2</sup>, Putri Nur Rahayu<sup>3</sup>, Mirza Ardiana<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

<sup>2,3,4</sup> Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

email: <sup>1</sup>[smahardika@ppns.ac.id](mailto:smahardika@ppns.ac.id), <sup>2</sup>[indriwidyastuti@ppns.ac.id](mailto:indriwidyastuti@ppns.ac.id), <sup>3</sup>[putri.nur@ppns.ac.id](mailto:putri.nur@ppns.ac.id),

<sup>4</sup>[mirzaardiana@ppns.ac.id](mailto:mirzaardiana@ppns.ac.id)

**ABSTRAK**

Energi terbarukan menjadi solusi krusial dalam memitigasi krisis energi dan perubahan iklim global. Salah satu sumber energi terbarukan yang potensial adalah pembangkit listrik tenaga air (PLTA), di mana turbin Pelton banyak diaplikasikan pada lokasi dengan *head* tinggi dan debit air rendah. Turbin Pelton mengonversi energi kinetik air menjadi energi mekanik melalui sistem sudu yang digerakkan oleh jet air dari *nozzle*. Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi diameter *nozzle* terhadap kinerja turbin Pelton melalui pengujian eksperimental dengan diameter *nozzle* 4 mm, 6 mm, dan 8 mm. Parameter yang diukur meliputi kecepatan putaran, torsi, daya mekanik, daya generator, dan efisiensi generator. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan diameter *nozzle* menyebabkan penurunan kecepatan putaran sebesar 13,7% dan torsi sebesar 43,7%. Namun, efisiensi mekanis meningkat signifikan dari 35% menjadi 53%, hal ini terjadi akibat reduksi kehilangan energi *turbulen* dan distribusi aliran air yang lebih stabil pada *nozzle* besar. Di sisi lain, daya mekanik turun 51% dan daya generator turun 26,7%, menunjukkan *trade-off* antara daya output dan efisiensi. Optimasi desain *nozzle* harus mempertimbangkan prioritas antara daya maksimum atau efisiensi optimal. Peningkatan efisiensi tidak selalu sejalan dengan peningkatan daya listrik yang dihasilkan. Diameter *nozzle* dipilih berdasarkan kebutuhan spesifik aplikasi, seperti pembangkit skala kecil yang memerlukan respons cepat (diameter kecil) atau sistem berkelanjutan dengan efisiensi tinggi (diameter besar).

**Kata kunci:** *Turbin Pelton, Diameter Nozzle, dan Kinerja Turbin*

**PENDAHULUAN**

Energi terbarukan menjadi solusi krusial dalam memitigasi krisis energi dan perubahan iklim global. Salah satu sumber energi terbarukan yang potensial adalah pembangkit listrik tenaga air (PLTA), di mana turbin Pelton banyak diaplikasikan pada lokasi dengan *head* tinggi dan debit air rendah [1]. Turbin Pelton mengonversi energi kinetik air menjadi energi mekanik melalui sistem sudu yang digerakkan oleh jet air dari *nozzle*. Efisiensi turbin ini sangat bergantung pada desain *nozzle*, karena *nozzle* berfungsi mengatur kecepatan, tekanan, dan volume aliran air [2]. Namun, optimasi diameter *nozzle* masih menjadi tantangan, karena variasi ukurannya dapat memengaruhi distribusi energi yang ditransfer ke sudu turbin, sehingga perlu dikaji lebih mendalam.

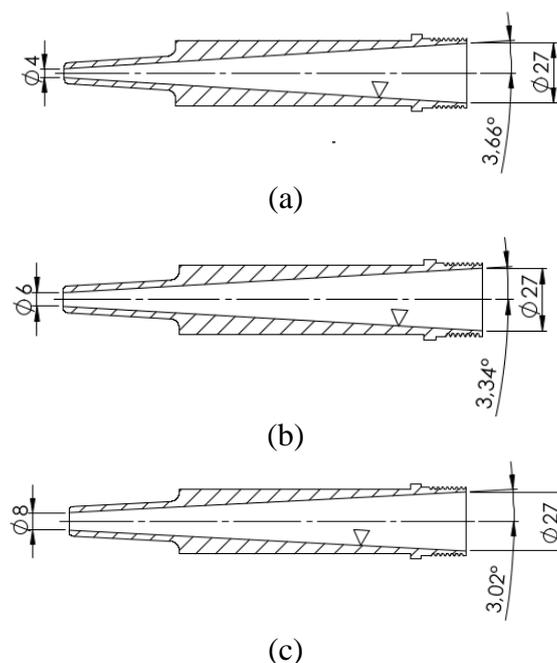
*Nozzle* laminar adalah *nozzle* yang memposisikan laju aliran fluida menjadi lurus dan teratur. *Nozzle* jenis ini dipilih karena dapat memposisikan aliran fluida lurus mengenai sudu. Diameter *nozzle* merupakan parameter kritis dalam menentukan kinerja turbin Pelton. Menurut Alnakhilani, dkk [3], *nozzle* dengan diameter terlalu kecil dapat menyebabkan kehilangan tekanan tinggi dan aliran yang tidak stabil, sementara diameter terlalu besar berisiko mengurangi kecepatan jet air sehingga energi kinetik yang dihasilkan tidak optimal [4]. Studi oleh Gupta, dkk [5] menunjukkan bahwa perubahan diameter *nozzle* sebesar 10% dapat mengubah efisiensi turbin hingga 15%. Fenomena ini terkait dengan hubungan antara diameter *nozzle*, laju aliran massa (mass flow rate), dan kecepatan jet air yang dijelaskan dalam persamaan kontinuitas ( $Q = A \cdot v$ ). Oleh karena itu, analisis perbedaan diameter *nozzle* diperlukan untuk menyeimbangkan antara debit air, kecepatan jet, dan energi yang diserap sudu turbin.

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi diameter *nozzle* terhadap performa turbin Pelton, termasuk parameter seperti efisiensi, torsi, dan daya output. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi desain *nozzle* yang optimal untuk meningkatkan kinerja turbin, khususnya dalam konteks pemanfaatan energi air skala kecil. Selain itu, temuan ini dapat menjadi referensi bagi pengembangan teknologi turbin impuls di daerah dengan potensi head tinggi namun terbatas debit air, sesuai dengan agenda Sustainable Development Goals (SDGs) tentang energi terjangkau dan berkelanjutan [6]. Dengan demikian, studi ini tidak hanya mendukung transisi energi bersih tetapi juga memperkuat inovasi teknologi turbin air di Indonesia.

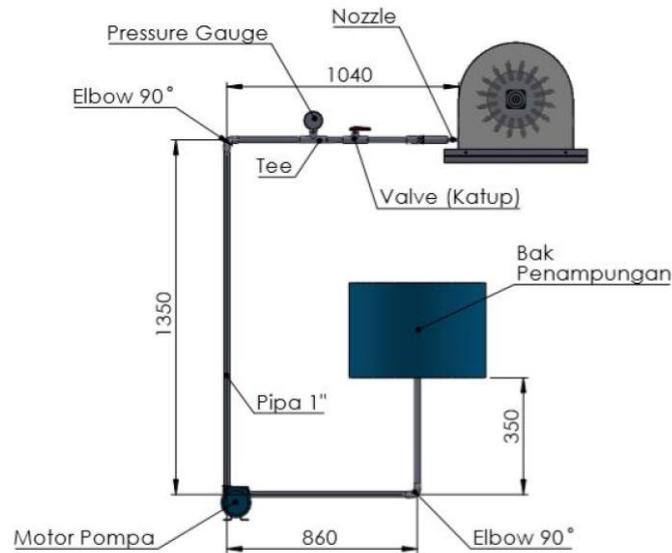
### PROSEDUR EKSPERIMEN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode penelitian eksperimen dengan cara melakukan pengamatan untuk pengambilan data dalam proses percobaan untuk mendapatkan data kinerja turbin pelton dengan perubahan dimensi ujung *nozzle* [7].

Untuk proses pengujian tersebut kami menggunakan *nozzle* dengan dimensi seperti pada gambar 1. Selanjutnya desain pengambilan data turbin seperti yang terdapat digambar 2.



Gambar 1. Dimensi *Nozzle* yang digunakan dalam penelitian, a) *Nozzle* Ø4mm, b) *Nozzle* Ø6mm dan c) *Nozzle* Ø8mm



Gambar 2. Desain Pengambilan data Penelitian

Persamaan yang kami gunakan dalam menghitung parameter data penelitian [8] yakni sebagai berikut:

1) Daya alir yang mengalir

Perhitungan Daya air teoritis yakni menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

Dimana:

$P_a$  = Daya air (watt)

$\rho$  = Massa Jenis ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )

A = Luas Penampang Turbin ( $\text{m}^2$ )

v = Kecepatan aliran ( $\text{m}/\text{s}$ )

2) Momen Inertia

Perhitungan momen inertia yakni menggunakan persamaan berikut:

$$I = m \cdot R^2 \quad (2)$$

Dimana:

I = momen inertia ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ )

m = massa total turbin (Kg)

R = Jari-jari turbin ( $\text{m}^2$ )

3) Kecepatan Sudut

Perhitungan kecepatan sudut yakni menggunakan persamaan berikut:

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

Dimana:

$\omega$  = Kecepatan sudut (rad/s)

n = Putaran turbin (Rpm)

4) Percepatan Sudut

Perhitungan percepatan sudut yakni menggunakan persamaan berikut:

$$\alpha = \frac{\pi \cdot n}{T_{max} \cdot 30} \quad (4)$$

Dimana:

$\alpha$  = Percepatan sudut (**rad/s<sup>2</sup>**)

$T_{max}$  = Waktu akselerasi turbin berputar sampai kec. Putar tertinggi (s)

#### 5) Torsi Mekanis Turbin

Perhitungan torsi mekanis turbin yakni menggunakan persamaan berikut:

$$T = I \cdot \alpha \quad (5)$$

Dimana:

T = Torsi Mekanis Turbin (N.m)

#### 6) Daya Mekanis Turbin

Perhitungan Daya mekanis turbin yakni menggunakan persamaan berikut:

$$P_m = T \cdot \omega \quad (6)$$

Dimana:

$P_m$  = Daya mekanis Turbin (watt)

#### 7) Daya Generator

Perhitungan Daya output geberator yakni menggunakan persamaan berikut:

$$P_g = V \cdot I \quad (7)$$

Dimana:

$P_g$  = Daya Generator (watt)

$V$  = Tegangan Listrik (volt)

$I$  = Kuat Arus Listrik (A)

#### 8) Efisiensi Generator

Perhitungan Efisiensi Generator yakni menggunakan persamaan berikut:

$$\eta = \frac{P_g}{P_m} \cdot 100\% \quad (8)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian yang kami lakukan, data diambil sebanyak 10 kali di tiap variasinya. Diameter runner yang digunakan yakni 300 mm dengan jumlah sudu sebanyak 28 buah seperti yang terdapat pada gambar 3. *Nozzle* laminar dan sudu turbin dibuat menggunakan 3D Printer dengan bahan fillament PLA. Generator yang kami gunakan yakni generator DC 12 volt dengan pembebanan lampu 50 watt. Adapun data yang kami peroleh dari penelitian yakni sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Pengolahan data Analisis Diameter *Nozzle* Laminar  
I (Kg.m<sup>2</sup>)

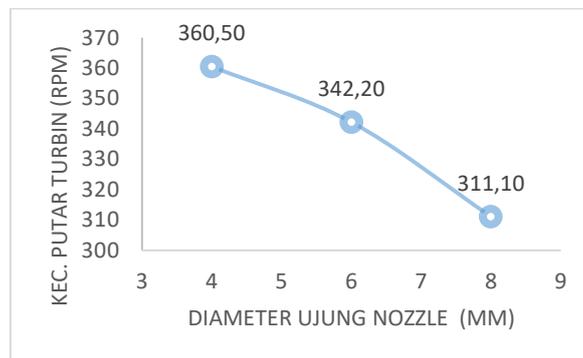
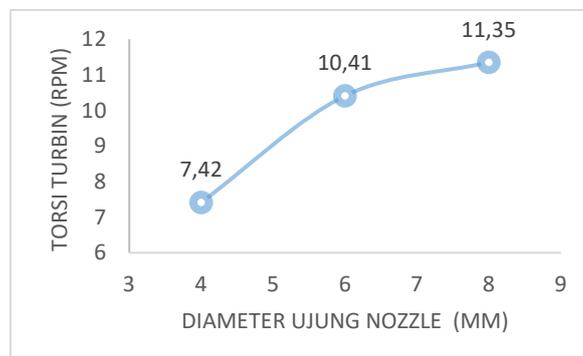
$\emptyset$ (mm)	n (Rpm)	m (Kg)	$d_r$ (m)	$t_{max}$ (s)	
4	360,50	1,24	0,3	7,42	0,056
6	342,20	1,24	0,3	10,41	0,056
8	311,10	1,24	0,3	11,35	0,056

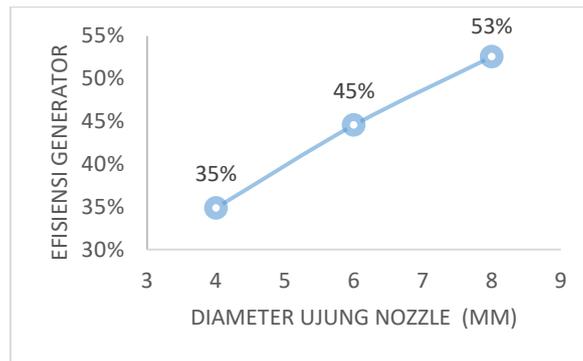
Tabel 2. Lanjutan Hasil Pengolahan data Analisis Diameter *Nozzle* Laminar

$\emptyset$ (mm)	$\omega$ (rad/s)	$\alpha$ (rad/s <sup>2</sup> )	T (N.m)	$P_g$ (watt)		$\eta$
				$P_m$ (watt)		
4	37,732	5,089	0,284	10,71	3,74	35%
6	35,817	3,441	0,192	6,876	3,06	45%
8	32,562	2,869	0,160	5,213	2,74	53%

Dari Tabel 1 dan 2 diatas, terlihat bahwa peningkatan diameter *nozzle* ( $\emptyset$ ) dari 4 mm menjadi 8 mm menyebabkan penurunan kecepatan putaran turbin ( $n$ ) dari 360,50 RPM menjadi 311,10 RPM (gambar 3), serta penurunan torsi ( $T$ ) dari 0,284 N.m menjadi 0,160 N.m (gambar 4). Hal ini juga menunjukkan bahwa *nozzle* berdiameter lebih besar menghasilkan aliran air yang kurang terfokus, sehingga mengurangi kecepatan jet dan energi kinetik yang ditransfer ke sudu turbin. Namun, meskipun kecepatan dan torsi menurun, efisiensi generator ( $\eta$ ) justru meningkat dari 35% (4 mm) menjadi 53% (8 mm) (gambar 5).

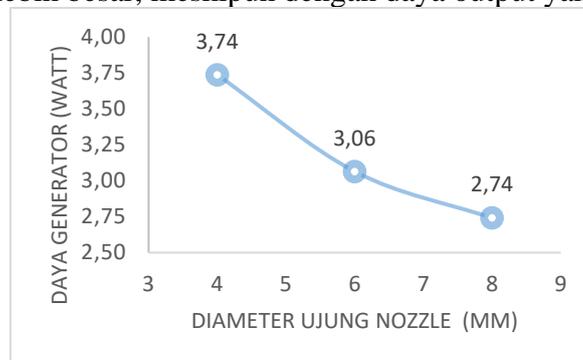
Peningkatan efisiensi ini diduga terkait dengan pengurangan kehilangan energi akibat turbulensi pada aliran air yang lebih stabil ketika diameter *nozzle* membesar, meskipun daya mekanik ( $P_m$ ) turun dari 10,71 Watt menjadi 5,213 Watt.

Gambar 3. Grafik Kec. Putar Pada Diameter Ujung *Nozzle* yang BerbedaGambar 4. Grafik Torsi Pada Diameter Ujung *Nozzle* yang Berbeda



Gambar 5. Grafik Efisiensi Generator Pada Diameter Ujung *Nozzle* yang Berbeda

Di sisi lain, data menunjukkan bahwa daya generator ( $P_g$ ) juga menurun seiring peningkatan diameter *nozzle*, dari 3,74 W (4 mm) menjadi 2,74 W (8 mm) (gambar 6). Namun, peningkatan efisiensi hingga 53% pada *nozzle* 8 mm mengindikasikan bahwa turbin mampu mengonversi energi hidrolik menjadi energi mekanik dengan lebih efektif pada diameter *nozzle* yang lebih besar, meskipun dengan daya output yang lebih rendah.



Gambar 6. Grafik Daya Generator Pada Diameter Ujung *Nozzle* yang Berbeda

Fenomena ini disebabkan oleh distribusi aliran air yang lebih merata pada sudu turbin, sehingga mengurangi gesekan dan kehilangan energi sekunder. Hasil ini menegaskan bahwa optimasi diameter *nozzle* tidak hanya bergantung pada kecepatan putaran maksimum, tetapi juga memerlukan analisis komprehensif antara efisiensi, daya output, dan karakteristik aliran air

## KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang kami dapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Nozzle* dengan diameter lebih kecil menghasilkan aliran air berkecepatan tinggi yang lebih efektif dalam memutar sudu turbin, meskipun disertai dengan turbulensi yang lebih besar.
2. *Nozzle* berdiameter lebih besar mampu mengurangi kehilangan energi akibat turbulensi dan distribusi aliran yang lebih stabil, sehingga energi hidrolik dikonversi menjadi energi mekanik dengan lebih efisien.
3. Pemilihan diameter *nozzle* harus mempertimbangkan prioritas: daya tinggi (diameter kecil) atau efisiensi optimal (diameter besar). Hal ini perlu dipertimbangkan dalam aplikasi praktis, terutama untuk sistem yang memerlukan daya listrik tinggi.
4. Kinerja turbin Pelton sangat bergantung pada keseimbangan antara desain *nozzle*, karakteristik aliran air, dan kebutuhan aplikasi. Hasil ini menegaskan pentingnya uji eksperimen dan simulasi untuk menentukan konfigurasi *nozzle* yang sesuai dengan kondisi operasional spesifik.

---

---

**REFERENSI**

- [1] IRENA, "Innovation Landscape Brief: Peer-To-Peer Electricity Trading," *International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.*, 2020.
- [2] S. L. Dixon and C. A. Hall, *Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery*. 2010. doi: 10.1016/C2009-0-20205-4.
- [3] M. M. Alnakhlani, Mukhtar, D. A. Himawanto, A. Alkurtehi, and D. Danardono, "Effect of the bucket and nozzle dimension on the performance of a pelton water turbine," *Mod Appl Sci*, vol. 9, no. 1, 2015, doi: 10.5539/mas.v9n1p25.
- [4] M. Mafruddin, R. M. Irawan, N. Setiawan, N. Rajabiah, and D. Irawan, "Pengaruh jumlah sudu dan diameter nozel terhadap kinerja turbin pelton," *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, vol. 8, no. 2, 2020, doi: 10.24127/trb.v8i2.1076.
- [5] V. Gupta, R. Khare, and V. Prasad, "Performance Evaluation of Pelton Turbine: A Review," *Hydro Nepal: Journal of Water, Energy and Environment*, vol. 13, 2014, doi: 10.3126/hn.v13i0.10042.
- [6] U. United Nations, "The Sustainable Development Goals Report 2024," *United Nations*, 2024.
- [7] T. Radoslav, T. Aleksandar, M. Marko, and V. Vuk, "Development Of Construction Of Mini Hydro Power Plant Model Based On Pelton Turbine," in *4th International Conference „NEW TECHNOLOGIES NT-2018“ Development and Application*, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina: Springer, Jun. 2018.
- [8] Murtalim *et al.*, "OPTIMASI JUMLAH, POSISI, DAN DIAMETER NOZEL TURBIN PELTON MELALUI ANALISIS QFD DAN UJI EKSPERIMENTAL," *BUANA ILMU*, vol. 6, no. 1, 2021, doi: 10.36805/bi.v6i1.2091.

**HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN**