

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH RASIO KETINGGIAN SUDU TIPE U SEJAJAR TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI TURBIN PELTON

Daiva Alfa Putri Aliansyah

Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: daiva.22036@mhs.unesa.ac.id

Priyo Heru Adiwibowo

Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: priyoheruadiwibowo@unesa.ac.id

Abstrak

Peningkatan kebutuhan energi listrik serta berkurangnya ketersediaan energi fosil mendorong pengembangan sumber energi terbarukan, salah satunya melalui Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Pada sistem ini, turbin Pelton banyak digunakan karena memiliki kinerja yang baik pada kondisi *head* tinggi dan debit rendah. Performa turbin dipengaruhi oleh karakteristik geometri sudu, sehingga modifikasi dimensi sudu menjadi salah satu upaya untuk meningkatkan daya dan efisiensi. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi rasio tinggi sudu tipe U posisi sejajar terhadap diameter luar turbin terhadap unjuk kerja turbin Pelton yang ditinjau dari daya keluaran dan efisiensi. Pengujian dilakukan menggunakan *runner* berdiameter 246 mm yang dilengkapi delapan sudu tipe U dengan kelengkungan 180° dan satu *nozzle* berdiameter 25,4 mm pada jarak 50 mm dari *runner*. Variasi rasio tinggi sudu terhadap diameter luar turbin (t/D) yang digunakan yaitu 0; 0,0406; 0,0813; dan 0,1219, sedangkan kapasitas aliran diatur melalui bukaan *globe valve* sebesar 90° , 100° , 110° , dan 120° sehingga menghasilkan debit berturut-turut 0,00229; 0,00260; 0,00328; dan 0,00449 m^3/s . Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan rasio tinggi sudu memberikan pengaruh terhadap kinerja turbin Pelton. Rasio t/D 0,0406 menghasilkan daya keluaran tertinggi sebesar 34,154 W pada debit 0,00449 m^3/s dan pembebanan 25 kg serta efisiensi tertinggi sebesar 30,86% pada debit 0,00229 m^3/s dan pembebanan 10 kg. Rasio dengan tinggi sudu terhadap diameter luar turbin 0,0406 memberikan unjuk kerja paling baik dibandingkan rasio t/D 0,0813, 0, dan 0,1219 karena menghasilkan interaksi jet air dan sudu yang lebih efektif, sedangkan rasio yang terlalu tinggi meningkatkan kerugian hidraulik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa rasio 0,0406 merupakan konfigurasi geometri sudu yang paling optimal pada kondisi pengujian.

Kata kunci: Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), Turbin Pelton, Rasio Tinggi Sudu, Daya, Efisiensi.

Abstract

The increasing demand for electrical energy and the decreasing availability of fossil fuels are driving the development of renewable energy sources, one of which is through micro-hydro power plants (PLTMH). In this system, Pelton turbines are widely used because they perform well under conditions of high head and low flow rate. Turbine performance is influenced by the geometric characteristics of the blades, so modifying the blade dimensions is one way to increase power output and efficiency. This study aims to analyze the effect of varying the ratio of the height of parallel U-type blades to the turbine's outer diameter on the performance of Pelton turbines, as assessed by power output and efficiency. The tests were conducted using a 246-mm-diameter runner equipped with eight U-type blades with a 180° curvature and a single 25.4-mm-diameter nozzle positioned 50 mm from the runner. The variations in the blade height-to-turbine-outer-diameter ratio (t/D) used were 0; 0.0406; 0.0813; and 0.1219, while the flow capacity was adjusted via a globe valve opening of 90° , 100° , 110° , and 120° , resulting in flow rates of 0.00229; 0.00260; 0.00328; and 0.00449 m^3/s , respectively. The results of the experiments show that changes in the blade height ratio affect the performance of the Pelton turbine. A t/D ratio of 0.0406 produced the highest output power of 34.154 W at a flow rate of 0.00449 m^3/s and a load of 25 kg, as well as the highest efficiency of 30.86% at a flow rate of 0.00229 m^3/s and a load of 10 kg. A blade height-to-outer-diameter ratio of 0.0406 provided the best performance compared to t/D ratios of 0.0813, 0.00, and 0.1219 because it resulted in more effective interaction between the water jet and the blades, whereas excessively high ratios increased hydraulic losses. These results indicate that a ratio of 0.0406 represents the most optimal blade geometry configuration under the test condition.

Keywords: Micro Hydropower Plant (MHP), Pelton Turbine, Bucket Height Ratio, Turbine Power, Turbine Efficiency.

PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan energi listrik serta menurunnya ketersediaan bahan bakar fosil mendorong pengembangan sumber energi baru terbarukan yang berkelanjutan. Indonesia memiliki potensi energi air yang

melimpah sehingga pemanfaatannya melalui Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) menjadi alternatif yang menjanjikan, khususnya untuk wilayah terpencil yang belum terjangkau jaringan listrik. Pada sistem PLTMH, turbin Pelton merupakan turbin impuls yang

bekerja efektif pada kondisi head tinggi dan debit relatif rendah sehingga banyak diterapkan pada pembangkit listrik skala kecil. Kinerja turbin tersebut ditentukan oleh kemampuan sudu dalam mengonversi energi kinetik jet air menjadi energi mekanik sehingga rancangan geometri sudu menjadi salah satu aspek yang perlu dioptimalkan.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa modifikasi geometri sudu mampu meningkatkan performa turbin Pelton. Wiyono et al. membuktikan bahwa sudu lengkung menghasilkan daya lebih tinggi dibandingkan sudu datar, sedangkan Adhikari et al. menunjukkan bahwa kedalaman sudu memiliki nilai optimum yang memengaruhi gaya tumbukan dan efisiensi. Penelitian lain oleh Liona dan Adiwibowo serta Ramadhan dan Adiwibowo juga mengungkapkan bahwa perubahan dimensi sudu terhadap diameter runner berpengaruh signifikan terhadap daya dan efisiensi turbin. Namun, kajian mengenai pengaruh rasio tinggi sudu terhadap diameter luar turbin pada sudu tipe U posisi sejajar masih sangat terbatas, sehingga karakteristik kinerjanya belum dipahami secara komprehensif.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi rasio tinggi sudu terhadap diameter luar turbin pada sudu tipe U posisi sejajar terhadap daya dan efisiensi turbin Pelton. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan desain sudu yang sederhana, mudah diproduksi, dan memiliki kinerja lebih baik untuk mendukung implementasi PLTMH skala kecil.

METODE

Penelitian ini menerapkan metode eksperimen untuk menganalisis hubungan sebab-akibat antara variasi rasio tinggi sudu terhadap diameter luar turbin dengan kinerja turbin Pelton. Pengujian dilakukan di laboratorium menggunakan beberapa variasi rasio sudu tipe U posisi sejajar, sementara parameter debit air dan tinggi head dipertahankan konstan. Data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk mengevaluasi pengaruh variasi tersebut terhadap daya dan efisiensi turbin.

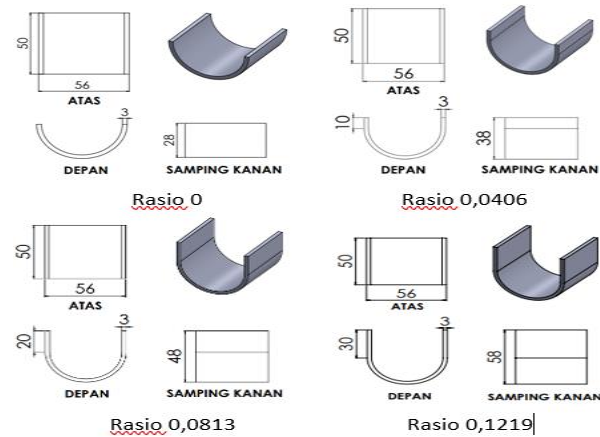
Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian Ini Dilaksanakan Di Laboratorium Mekanika Fluida, Gedung A8 Lantai 2, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya. Pelaksanaan Penelitian Diawali Setelah Seminar Proposal Disetujui, Kemudian Dilanjutkan Dengan Tahap Pengujian, Pengumpulan Data, Dan Analisis Hasil Hingga Seluruh Data Yang Diperlukan Berhasil Diperoleh.

Variabel Penelitian

Variabel Bebas

Variabel bebas pada penelitian ini berupa variasi rasio tinggi sudu tipe U posisi sejajar terhadap diameter luar turbin (t/D), yaitu 0, 0,0406, 0,0813, dan 0,1219. Variasi tersebut digunakan untuk mengevaluasi pengaruh geometri sudu terhadap daya dan efisiensi turbin Pelton.



Gambar 1. Desain Variasi Sudu

Variabel Terikat

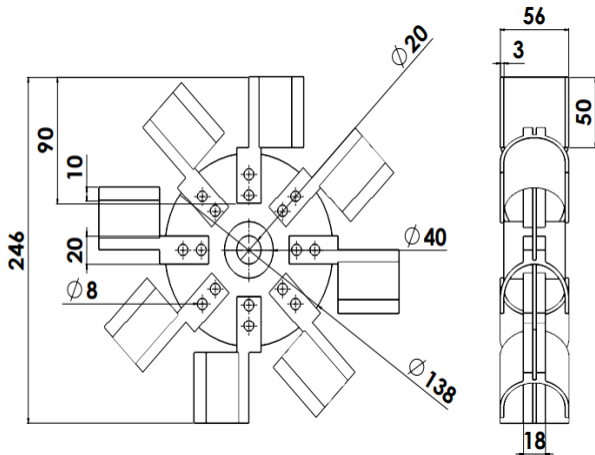
Pada penelitian ini, variabel terikat yang dianalisis adalah performa turbin Pelton yang ditinjau berdasarkan *output* daya dan tingkat efisiensi yang dihasilkan pada setiap kondisi pengujian.

Variabel Kontrol

Pada penelitian ini variabel kontrol yang digunakan adalah:

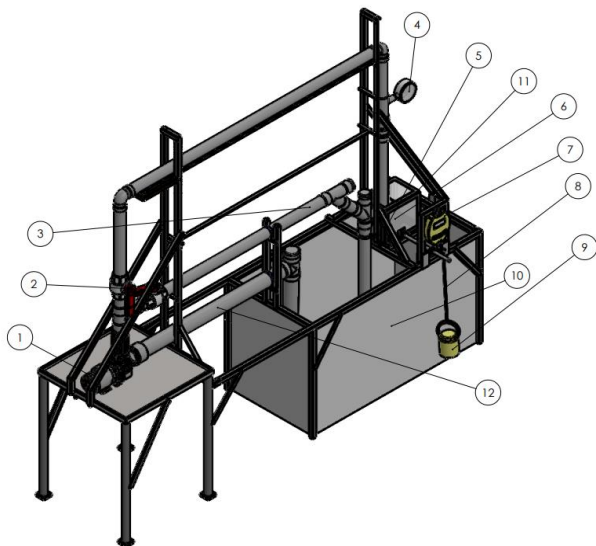
- 1) Fluida kerja yang digunakan adalah air.
- 2) Penelitian ini tidak membahas material yang digunakan pada turbin.
- 3) Penelitian ini membahas *prototype* turbin pelton dengan poros horizontal.
- 4) Menggunakan *runner* berdiameter 246 mm.
- 5) Penelitian ini menggunakan bukaan katup *globe valve* 90° yang menghasilkan kapasitas aliran 0,00229 m³/s, 100° menghasilkan kapasitas aliran 0,0026 m³/s, 110° menghasilkan kapasitas aliran 0,00328 m³/s dan 120° menghasilkan kapasitas aliran 0,00449 m³/s dan kecepatan aliran sebesar 4,517 m/s, 5,127 m/s, 6,474 m/s, 8,669 m/s.
- 6) Penelitian ini hanya menggunakan diameter nosel 25,4 mm dan jarak semprot nosel 50 mm.
- 7) Pembebanan dimulai dari 5 kg, 10 kg, 15 kg dan akan bertambah dengan kelipatan 5 kg hingga turbin berhenti berputar.
- 8) Penelitian ini menggunakan variasi jumlah sudu yaitu 8 sudu dengan sudut 180°.

- 9) Pada penelitian ini hanya memvariasikan rasio tinggi sudu tipe u posisi sejajar dengan diameter luar turbin (t/D) yaitu rasio 0, 0,0406, 0,0813, dan 0,1219.
- 10) Pada penelitian menggunakan *prototype* turbin pelton dengan ketinggian 3 meter.



Gambar 2. Desain Runner

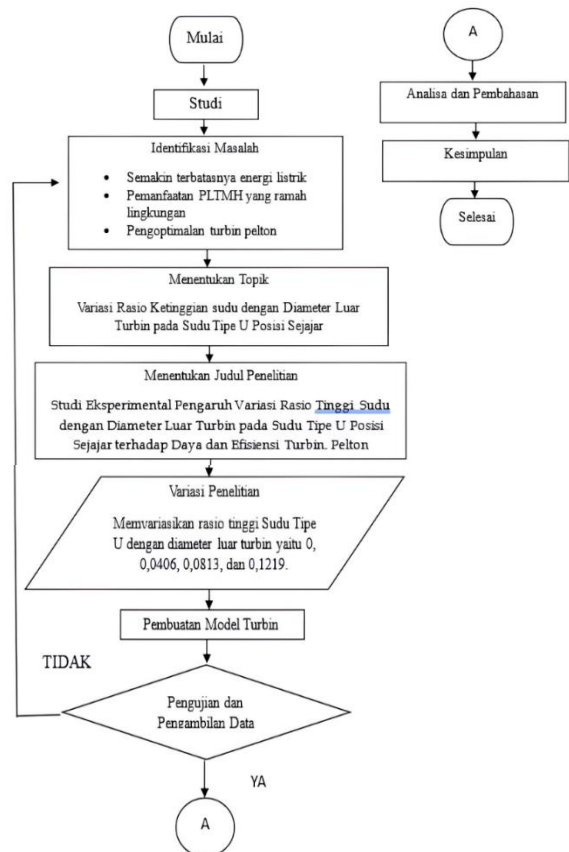
Peralatan dan Instrumen Penelitian



Gambar 3. Desain Rancangan PLTMH

- | | |
|--------------------|-----------------------|
| 1. Pompa | 7. Neraca |
| 2. Katup | 8. Prony Brake |
| 3. Pipa pembuangan | 9. Beban |
| 4. Pressure Gauge | 10. Bak Penampung Air |
| 5. Nosel | 11. Rumah Turbin |
| 6. Turbin Pelton | 12. Pipa Hisap |

Diagram alir penelitian



Gambar 4. Diagram alir penelitian

Teknik Pengumpulan Data

Data penelitian diperoleh melalui pengujian eksperimen dan pengukuran langsung pada objek uji. Seluruh hasil pengukuran didokumentasikan serta disusun secara sistematis sebagai dasar analisis untuk mengevaluasi pengaruh variasi rasio ketinggian pelat sampling terhadap daya keluaran dan efisiensi turbin Pelton.

Teknik Analisa Data

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran diorganisasikan ke dalam bentuk tabel, kemudian dianalisis secara teoritis dan disajikan dalam bentuk grafik. Penyajian data ini bertujuan untuk mempermudah interpretasi hasil, mengungkap hubungan antarvariabel, serta menjelaskan karakteristik kinerja turbin berdasarkan fenomena yang diamati selama pengujian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Data penelitian diperoleh melalui pengukuran langsung dan perhitungan terhadap parameter yang diamati. Debit aliran air diukur menggunakan *V-Notch Weir*, beban ditentukan dengan neraca, sedangkan kecepatan putar turbin diukur menggunakan tachometer.

Untuk meningkatkan keandalan hasil pengukuran, setiap pengujian dilakukan sebanyak tiga kali, kemudian data yang diperoleh diolah menggunakan persamaan yang telah ditetapkan. Selanjutnya, hasil perhitungan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memudahkan analisis serta perbandingan antar variasi pengujian. Persamaan yang digunakan dalam pengolahan data disajikan sebagai berikut.

- Kapasitas Aliran Air (Q) :

$$Q = c_d \left(\frac{g}{15} \right) \sqrt{2g} \tan \left(\frac{\theta}{2} \right) H^{\frac{5}{2}} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan :

Q = Kapasitas Aliran Air (m³/s)

Cd = Coefficient of discharge

g = Gravitasi (9,81 m/s²)

H = Ketinggian Aliran Air yang melewati V Notch Weir (m)

θ = Sudut V Notch Weir

- Luas Penampang Ujung Nozzle (A) :

$$A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \dots \dots \dots (2.2)$$

Dengan:

A = Luasan ujung nozzle (m²).

d = diameter dalam nozzle (m).

- Kecepatan Aliran (v) :

$$v = Q / A \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan:

v = Kecepatan aliran (m/s).

Q = Debit aliran air (m³/s).

A = Luasan ujung nozzle (m²).

- Kecepatan Anguler/Tangensial (ω) :

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dengan:

ω = Kecepatan anguler/tangensial (rad/s)

n = Putaran turbin (rpm).

- Gaya (F) :

$$F = m \cdot g \dots \dots \dots (2.5)$$

Dengan:

F = Gaya (N)

m = Beban (kg)

g = Gravitasi (9,81 m/s²)

- Torsi (T)

$$T = F \cdot r \dots \dots \dots (2.6)$$

Dengan:

T = Torsi (N.m).

F = Gaya (N).

r = Lengan / jari – jari (m).

- Daya Turbin :

$$P_t = T \cdot \omega \dots \dots \dots (2.7)$$

Dengan:

P_t = Daya turbin (Watt)

T = Torsi (N.m)

ω = Kecepatan angular (rad/s)

- Daya air (Pa) :

$$P_a = P_k + P_p \dots \dots \dots (2.8)$$

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \dots \dots \dots (2.9)$$

$$P_k = \frac{1}{2} \cdot \dot{m} \cdot v^2 \dots \dots \dots (2.10)$$

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot v \dots \dots \dots (2.11)$$

$$P_k = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \dots \dots \dots (2.12)$$

$$P_h = \frac{F}{A} = \frac{\rho \cdot A \cdot g \cdot h}{A} \rho \cdot g \cdot h \dots (2.13)$$

$$P_p = Q \cdot P_h \dots \dots \dots (2.14)$$

Dengan:

P_a = Daya air (watt)

$\dot{m}$ = Laju Alir Massa (kg/s)

P_k = Daya kinetik (watt)

P_h = Tekanan Air (N/m²)

P_p = Daya Potensial (watt)

ρ = Massa Jenis (kg/m³)

A = Luas ujung nozzle (m²)

v = Kecepatan aliran (m/s)

Q = Kapasitas aliran turbin (m³/s)

h = Ketinggian (m)

- Efisiensi Turbin (η) :

$$\eta = \frac{P_t}{P_a} \cdot 100\% \dots \dots \dots (2.15)$$

Dengan:

η = Efisiensi turbin

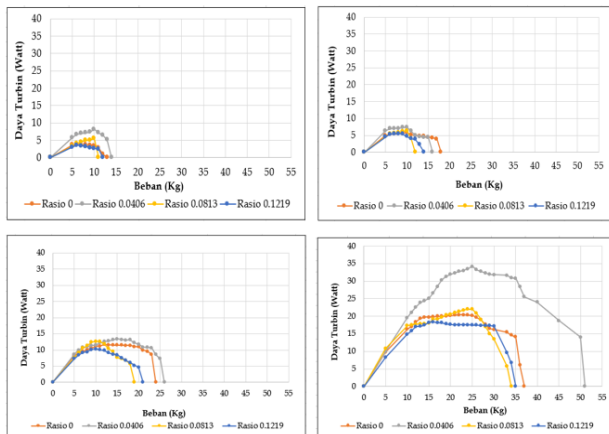
P_t = Daya turbin (Watt)

P_a = Daya air (Watt)

Pembahasan

Data hasil pengukuran diolah untuk menentukan nilai daya dan efisiensi turbin pada setiap kondisi pengujian. Selanjutnya, hasil perhitungan disajikan dalam bentuk grafik guna mempermudah interpretasi dan analisis data. Pengelompokan data dilakukan berdasarkan kapasitas aliran air yang diperoleh dari masing-masing variasi bukaan katup, sehingga perbandingan kinerja turbin pada setiap kondisi dapat dilakukan secara sistematis. Penyajian data tersebut juga bertujuan untuk mengidentifikasi hubungan antara variabel penelitian dengan perubahan daya dan efisiensi turbin secara lebih jelas.

A. Perbandingan Daya Turbin Pelton Variasi Rasio Ketinggian Sudu dengan Diameter Luar Turbin pada Sudu Tipe U Posisi Sejajar



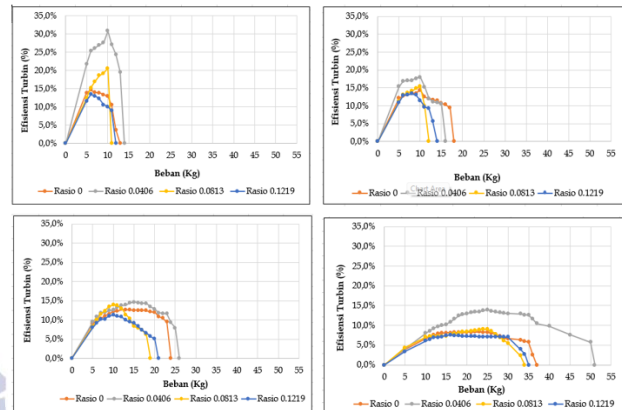
Gambar 5. Grafik Daya Turbin pada Setiap Kapasitas Aliran Air

Variasi rasio tinggi sudu terhadap diameter luar turbin terbukti memengaruhi daya keluaran turbin Pelton. Pada seluruh kapasitas aliran yang diuji ($0,00229$ – $0,00449$ m^3/s), rasio $0,0406$ secara konsisten menghasilkan daya tertinggi. Daya maksimum sebesar $34,154$ Watt diperoleh pada kapasitas aliran $0,00449$ m^3/s dengan pembebanan 25 kg. Berdasarkan nilai daya maksimum, urutan performa turbin adalah rasio $0,0406$, $0,0813$, 0 , dan $0,1219$.

Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Ramadhan dan Adiwibowo (2024) yang menyatakan bahwa peningkatan debit aliran meningkatkan daya turbin Pelton melalui bertambahnya energi kinetik dan gaya impuls yang diterima runner. Pada penelitian ini, kenaikan kapasitas aliran dari $0,00229$ m^3/s menjadi $0,00449$ m^3/s meningkatkan daya maksimum rasio $0,0406$ dari $8,176$ Watt menjadi $34,154$ Watt. Selain itu, temuan ini juga mendukung Adhikari et al. (2021) yang menjelaskan bahwa dimensi bucket memiliki ukuran optimum untuk menghasilkan transfer momentum yang paling efektif.

Berdasarkan teori segitiga kecepatan, rasio $0,0406$ memberikan keseimbangan terbaik antara kecepatan jet air, kecepatan keliling sudu, dan kecepatan relatif aliran sehingga perubahan momentum dan gaya impuls menjadi maksimum. Sebaliknya, rasio yang lebih kecil maupun lebih besar menurunkan efektivitas transfer energi akibat pemanfaatan jet yang kurang optimal atau meningkatnya rugi-rugi hidraulik. Oleh karena itu, rasio $0,0406$ merupakan konfigurasi geometri sudu yang paling optimal pada kondisi pengujian ini.

B. Perbandingan Efisiensi Turbin Pelton Variasi Rasio Ketinggian Sudu dengan Diameter Luar Turbin pada Sudu Tipe U Posisi Sejajar



Gambar 6. Grafik Efisiensi Turbin pada Setiap Kapasitas Aliran Air

Variasi rasio tinggi sudu terhadap diameter luar turbin terbukti memengaruhi efisiensi turbin Pelton. Pada seluruh kapasitas aliran air yang diuji $0,00229$, $0,00260$, $0,00328$, dan $0,00449$ m^3/s , rasio $0,0406$ secara konsisten menghasilkan efisiensi tertinggi dibandingkan variasi lainnya. Efisiensi maksimum penelitian mencapai $30,86\%$ pada kapasitas aliran $0,00229$ m^3/s dengan pembebanan 10 kg. Berdasarkan nilai efisiensi maksimum pada setiap kapasitas aliran, urutan performa turbin dari yang terbaik hingga terendah adalah rasio $0,0406$, $0,0813$, 0 , dan $0,1219$. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perubahan geometri sudu berpengaruh terhadap efektivitas konversi energi pada turbin Pelton.

Temuan ini menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi diperoleh pada kapasitas aliran air yang paling rendah, karena aliran yang lebih stabil memungkinkan interaksi antara jet air dan sudu berlangsung lebih efektif sehingga rugi-rugi energi dapat diminimalkan. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Ramadhan dan Adiwibowo (2024) yang menyatakan bahwa kualitas interaksi antara aliran fluida dan sudu sangat menentukan efisiensi turbin. Selain itu, penelitian Adhikari et al. (2021) juga menjelaskan bahwa dimensi bucket memiliki ukuran optimum dalam menghasilkan transfer energi yang maksimal, sedangkan dimensi yang melebihi kondisi optimum cenderung meningkatkan turbulensi dan kehilangan energi.

Berdasarkan teori segitiga kecepatan, rasio $0,0406$ menghasilkan keseimbangan terbaik antara kecepatan jet air, kecepatan keliling sudu, dan kecepatan relatif aliran sehingga transfer energi dari fluida ke runner berlangsung paling efektif. Sebaliknya, rasio 0 belum mampu memanfaatkan energi jet secara optimal karena tinggi sudu yang terlalu rendah, sedangkan rasio $0,0813$ dan $0,1219$ mengalami penurunan efisiensi akibat meningkatnya rugi-rugi hidraulik dan turbulensi di dalam sudu. Oleh karena

itu, rasio 0,0406 merupakan konfigurasi geometri yang paling optimum untuk menghasilkan efisiensi turbin Pelton pada kondisi pengujian ini.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

- 1) Variasi rasio tinggi sudu terhadap diameter luar turbin pada sudu tipe U posisi sejajar terbukti memengaruhi daya keluaran turbin Pelton. Daya maksimum sebesar 34,154 Watt diperoleh pada rasio 0,0406 dengan kapasitas aliran air 0,00449 m³/s dan pembebanan 25 kg. Hasil tersebut menunjukkan bahwa rasio 0,0406 mampu mengoptimalkan transfer momentum antara jet air dan sudu, sehingga berdasarkan teori segitiga kecepatan menghasilkan gaya impuls dan daya turbin yang paling tinggi.
- 2) Variasi rasio tinggi sudu terhadap diameter luar turbin juga berpengaruh terhadap efisiensi turbin Pelton. Efisiensi tertinggi sebesar 30,68% dicapai pada rasio 0,0406 dengan kapasitas aliran air 0,00229 m³/s dan pembebanan 10 kg. Kondisi ini menunjukkan bahwa rasio tersebut memberikan proses konversi energi yang paling efektif. Ditinjau dari teori segitiga kecepatan, keseimbangan antara kecepatan jet, kecepatan sudu, dan kecepatan relatif mampu meminimalkan kehilangan energi sehingga efisiensi turbin meningkat.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh variasi rasio tinggi sudu tipe U posisi sejajar terhadap diameter luar turbin pelton terhadap daya dan efisiensi, maka dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya disarankan setelah menggunakan instrumen alat penelitian segera dikembalikan ke tempat semula dan diistirahatkan untuk penelitian selanjutnya.
2. Penelitian berikutnya disarankan untuk mengganti bak penampung air dengan yang baru dikarenakan banyak bagian yang keropos pada sisi-sisi bak yang dikhawatirkan dapat mengakibatkan kebocoran.

DAFTAR PUSTAKA

Adhikari, N., Pandey, A., Subedi, A., & Subedi, N. (2021). *Design of Pelton Turbine and Bucket Surface using Non-Uniform Rational Basis Spline and its Analysis with Computational Fluid Dynamics. Journal of the Institute of Engineering, 16(1), 41–50.*
<https://doi.org/10.3126/jie.v16i1.36534>

- Aditama, H. D., & Adiwibowo, P. H. (2023). Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Jarak Nozzle Terhadap Daya Dan Efisiensi Pada Turbin Pelton Hanun Damar Aditama Priyo Heru Adiwibowo Abstrak. *Jurnal Teknik Mesin Unesa, 11(02), 81–88.*
- Liona, Y., & Adiwibowo, P. H. (2023). Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Kelengkungan Sudu Berpenampang Lengkung Posisi Sejajar Terhadap Daya Dan Efisiensi Pada Turbin Pelton. *Jurnal Teknik Mesin Unesa, 11(03), 19–26.*
- Petley, S., & Aggidis, G. A. (2019). *Estimating the Energy Loss in Pelton Turbine Casings by Transient CFD and Experimental Analysis. International Journal of Fluid Machinery and Systems, 12(4), 400–417.*
<https://doi.org/10.5293/ijfms.2019.12.4.400>
- Quaranta, E., & Trivedi, C. (2021). *The state-of-art of design and research for Pelton turbine casing, weight estimation, counterpressure operation and scientific challenges. Heliyon, 7(12), e08527.*
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08527>
- Ramadhan, K. R. Fajar, & Adiwibowo, P. H. (2024). Studi Eksperimental Pengaruh Rasio Panjang Ujung Sudu Pada Plat L Dengan Diameter Turbin Terhadap Daya Dan Efisiensi Pada Turbin Pelton. *Jurnal Teknik Mesin Unesa, 12(03), 1–10.*
- Wicaksana, M. Y. A., & Adiwibowo, P. H. (2023). Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin Pelton Muhammad Yosi Ammirul Wicaksana Priyo Heru Adiwibowo Abstrak, *11(02), 1–10.*
- Wiyono, A. (2018). Pengaruh Bentuk Sudu terhadap Performa Turbin Pelton. *Jurnal Teknik Mesin, 10(2), 45–52.*