

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH RASIO TINGGI SUDU U MELINTANG TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI TURBIN PELTON

Ahmad Wahyudi

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

Email: ahmadwahyudi.22096@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 mendorong pengembangan sumber energi terbarukan, salah satunya melalui Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) yang memanfaatkan turbin Pelton sebagai penggerak utama pada kondisi head tinggi dan debit rendah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi rasio tinggi sudu tipe U posisi melintang terhadap diameter luar turbin (t/D) terhadap daya dan efisiensi turbin Pelton. Penelitian dilakukan secara eksperimental menggunakan turbin Pelton poros horizontal dengan diameter runner 246 mm, delapan sudu, dan sudut kelengkungan 180° . Variasi rasio t/D yang diuji meliputi 0, 0,0406, 0,0813, dan 0,1219. Pengujian menggunakan nozel berdiameter 25,4 mm dengan jarak semprot 50 mm, sedangkan variasi debit diperoleh dari bukaan globe valve sebesar 90° , 100° , 110° , dan 120° yang menghasilkan debit berturut-turut 0,00229 m^3/s , 0,00260 m^3/s , 0,00328 m^3/s , dan 0,00449 m^3/s . Parameter yang diamati meliputi daya dan efisiensi turbin pada pembebanan bertahap hingga putaran berhenti. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi rasio tinggi sudu berpengaruh terhadap karakteristik aliran, sehingga memengaruhi proses konversi energi pada turbin Pelton. Seluruh variasi rasio tinggi sudu rasio 0,0813, 0,0406, dan 0,1219 menghasilkan kinerja yang lebih baik dibandingkan rasio 0 sebagai yang terendah. Rasio 0,0813 menghasilkan kinerja optimum dengan daya maksimum sebesar 28,405 Watt pada debit 0,00449 m^3/s dan pembebanan 25 kg, serta efisiensi tertinggi sebesar 26,39% pada debit 0,00229 m^3/s dengan pembebanan 10 kg. Dengan demikian, hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio tinggi sudu tipe U posisi melintang sebesar 0,0813 merupakan konfigurasi optimum yang mampu menghasilkan daya dan efisiensi turbin Pelton tertinggi dibandingkan variasi rasio lainnya.

Kata kunci : PLTMH, Turbin Pelton, Sudu Tipe U, Rasio Tinggi Sudu, Daya, Efisiensi.

ABSTRACT

The increasing demand for electrical energy has encouraged the development of renewable energy sources, one of which is Micro Hydropower Plants (MHPPs) utilizing Pelton turbines as the primary prime mover under high-head and low-flow conditions. This study aims to analyze the effect of variations in the ratio of the transverse U-shaped bucket height to the turbine outer diameter (t/D) on the power output and efficiency of a Pelton turbine. The research was conducted experimentally using a horizontal-shaft Pelton turbine with a runner diameter of 246 mm, eight buckets, and a bucket curvature angle of 180° . The tested t/D ratios were 0, 0.0406, 0.0813, and 0.1219. The experiments were performed using a 25.4 mm diameter nozzle with a nozzle-to-runner distance of 50 mm. Flow rate variations were obtained by adjusting the globe valve opening to 90° , 100° , 110° , and 120° , producing flow rates of 0.00229 m^3/s , 0.00260 m^3/s , 0.00328 m^3/s , and 0.00449 m^3/s , respectively. The observed parameters included turbine power output and efficiency under incremental loading until the turbine came to a complete stop. The results indicate that variations in the bucket height ratio significantly affect the flow characteristics, thereby influencing the energy conversion process of the Pelton turbine. The t/D ratios of 0.0813, 0.0406, and 0.1219 consistently demonstrated better performance than the 0 ratio, which exhibited the lowest performance. The optimum performance was achieved at a t/D ratio of 0.0813, producing a maximum power output of 28.405 W at a flow rate of 0.00449 m^3/s under a 25 kg load, while the highest efficiency of 26.39% was obtained at a flow rate of 0.00229 m^3/s under a 10 kg load. Therefore, the results indicate that a transverse U-shaped bucket height ratio (t/D) of 0.0813 is the optimum configuration for achieving the highest power output and efficiency among the tested variations of the Pelton turbine.

Keywords: Micro Hydropower Plant (MHPP), Pelton Turbine, U-Shaped Bucket, Bucket Height Ratio, Power, Efficiency

PENDAHULUAN

Perkembangan jumlah penduduk yang diiringi dengan pesatnya kemajuan teknologi menyebabkan kebutuhan energi listrik terus mengalami peningkatan. Selama ini pemenuhan kebutuhan energi masih didominasi oleh bahan bakar fosil yang jumlahnya semakin terbatas dan berpotensi menimbulkan dampak terhadap lingkungan. Kondisi tersebut mendorong pemanfaatan energi baru dan terbarukan sebagai sumber energi yang lebih berkelanjutan. Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang sangat besar, salah satunya berasal dari energi air yang dapat dimanfaatkan melalui Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Sistem ini memanfaatkan energi potensial dan energi kinetik air untuk menggerakkan turbin yang kemudian mengubah energi mekanik menjadi energi listrik melalui generator. Di antara berbagai jenis turbin air, turbin Pelton merupakan salah satu pilihan yang sesuai untuk kondisi head tinggi dengan debit air relatif kecil karena memiliki konstruksi sederhana, mudah dioperasikan, serta mampu menghasilkan efisiensi yang baik. Kinerja turbin Pelton sangat dipengaruhi oleh desain geometris sudu, seperti bentuk, jumlah, kedalaman, sudut kelengkungan, maupun dimensinya. Perubahan geometri sudu akan memengaruhi proses penangkapan aliran air dan besarnya energi yang dapat dikonversi menjadi putaran turbin. Berbagai pengembangan desain sudu telah dilakukan untuk meningkatkan daya dan efisiensi turbin, namun penelitian mengenai pengaruh rasio tinggi sudu tipe U posisi melintang terhadap diameter luar turbin masih belum banyak dikaji. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi rasio tinggi sudu tipe U posisi melintang terhadap daya dan efisiensi turbin Pelton, sehingga dapat diperoleh konfigurasi sudu yang memberikan performa paling optimal dalam penerapan sistem PLTMH.

METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen, yaitu metode yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh suatu variabel terhadap variabel lainnya melalui pemberian perlakuan tertentu dalam kondisi yang telah dikendalikan. Pada penelitian ini, perlakuan yang diberikan berupa variasi rasio tinggi sudu tipe U posisi melintang terhadap diameter luar turbin Pelton untuk mengetahui pengaruhnya terhadap daya dan efisiensi yang dihasilkan. Seluruh proses pengujian dilaksanakan menggunakan peralatan yang telah dirancang dan dikalibrasi sesuai kebutuhan penelitian agar kondisi pengujian tetap konsisten. Parameter lain yang dapat memengaruhi hasil, seperti diameter runner, jumlah sudu, diameter nozel, jarak semprot, dan kondisi operasi, dipertahankan tetap sehingga perubahan performa turbin hanya dipengaruhi oleh variasi rasio tinggi sudu. Data yang diperoleh dari setiap pengujian selanjutnya dianalisis untuk membandingkan karakteristik daya dan efisiensi pada masing-masing variasi, sehingga dapat ditentukan rasio

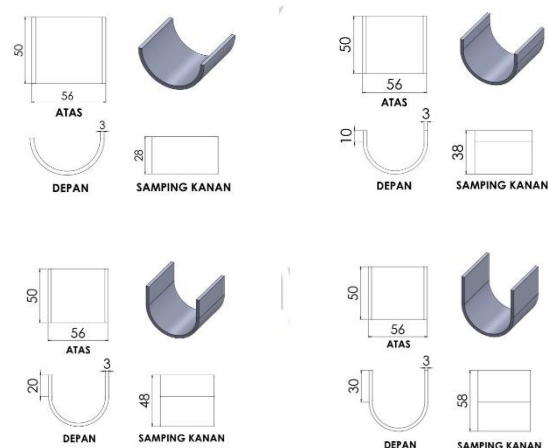
tinggi sudu tipe U posisi melintang yang memberikan kinerja paling optimal terhadap turbin Pelton.

TEMPAT DAN WAKTU PENELITIAN

Penelitian berjudul "Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Rasio Tinggi Sudu Tipe U Posisi Melintang dengan Diameter Luar Turbin Pelton terhadap Daya dan Efisiensi" dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Fluida, Gedung A.8 Lantai 2, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya. Sementara itu, proses pembuatan dan perakitan komponen penelitian dilakukan di bengkel yang telah bekerja sama dalam mendukung pelaksanaan penelitian. Kegiatan penelitian dilaksanakan setelah seminar proposal skripsi diselenggarakan dan memperoleh persetujuan, kemudian dilanjutkan dengan tahap fabrikasi, pengujian, pengambilan data, hingga analisis hasil penelitian. Seluruh rangkaian kegiatan dilakukan secara bertahap sampai seluruh data yang diperlukan terkumpul dan analisis penelitian dapat diselesaikan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan.

Variabel bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini merupakan faktor yang sengaja diubah untuk mengetahui pengaruhnya terhadap daya dan efisiensi turbin Pelton. Variabel tersebut berupa variasi rasio tinggi sudu tipe U posisi melintang terhadap diameter luar turbin (t/D). Nilai rasio diperoleh dari hasil perbandingan antara tinggi sudu dengan diameter luar turbin sehingga menghasilkan empat variasi, yaitu 0,0406, 0,0813, dan 0,1219. Setiap variasi rasio digunakan sebagai perlakuan pada proses pengujian untuk menganalisis perubahan performa turbin berdasarkan daya keluaran dan efisiensi yang dihasilkan..



Gambar 1. Desain sudu variasi rasio

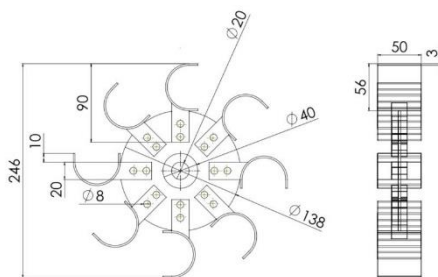
Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini berupa daya keluaran dan efisiensi turbin Pelton yang diperoleh sebagai respons terhadap perubahan variasi rasio tinggi sudu tipe U posisi melintang. Kedua parameter tersebut digunakan sebagai indikator untuk mengevaluasi pengaruh perlakuan yang diberikan terhadap kinerja turbin..

Variabel Kontrol

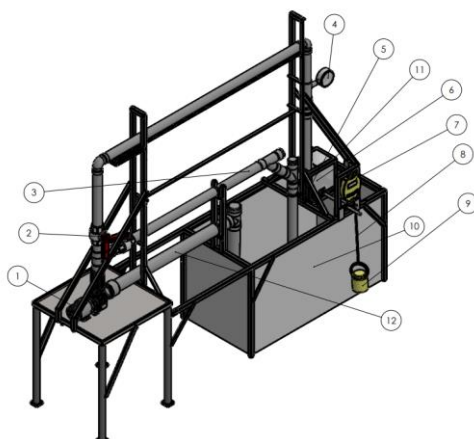
Pada penelitian kali ini, agar pokok pembahasan sesuai serta fokus terhadap pada judul yang diberikan, maka Penulis memberi batasan masalah, diantaranya:

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. Pada Penelitian ini menggunakan kapasitas aliran air pada bukaan katup *globe valve* 90° menghasilkan 0,00229 m³/s, 100° menghasilkan 0,00260 m³/s, 110° menghasilkan 0,00328 m³/s dan 120° menghasilkan 0,00449 m³/s dan kecepatan aliran sebesar 4,517 m/s, 5,127 m/s, 6,474m/s, 8,669 m/s. Penelitian ini hanya menggunakan diameter *Nozzel* 25,4 mm dan jarak semprot *Nozzel* 50 mm
6. Pembebanan sebesar 5 kg, 10kg, dan 15kg dan seterusnya hingga turbin berhenti berputar.
7. Penelitian ini menggunakan variasi jumlah sudu yaitu 8 Sudu dengan sudut 180°
8. Pada penelitian ini hanya memvariasikan rasio tinggi sudu tipe u posisi melintang dengan diameter luar turbin (t/D) yaitu rasio 0, rasio 0,0406, rasio 0,0813, dan rasio 0,1219



Gambar 2. Desain Runner

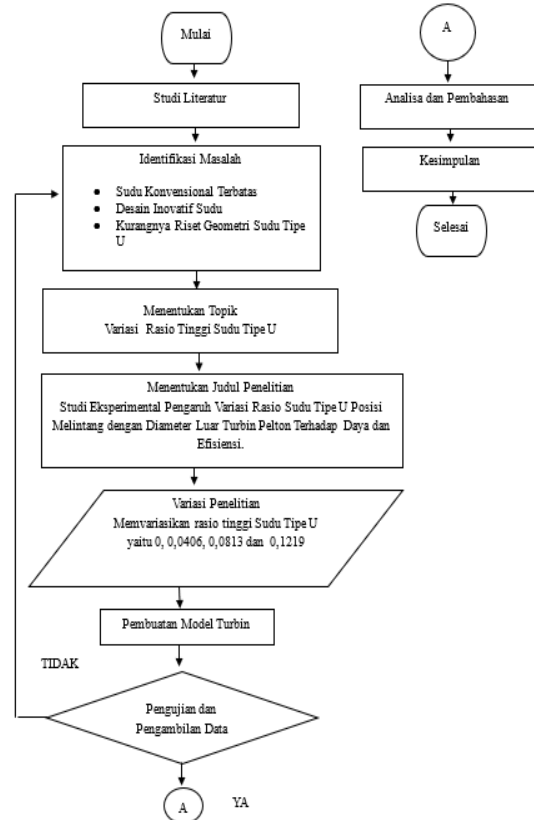
Peralatan dan Instrumen Penelitian



Gambar 3. Desain Rancangan PLTMH

Keterangan:

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



Gambar 3. Diagram alir penelitian

Teknik Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data bertujuan untuk mendapatkan informasi yang diperlukan sebagai dasar dalam mencapai tujuan penelitian. Informasi yang dihimpun disesuaikan dengan variabel-variabel yang terdapat dalam hipotesis, karena hipotesis merupakan dugaan sementara yang memberikan jawaban awal terhadap rumusan atau pertanyaan penelitian. Dalam penelitian ini, teknik pengumpulan data dilakukan melalui pengukuran atau pengujian terhadap objek penelitian, kemudian hasil yang diperoleh dicatat secara sistematis sebagai bahan analisis.

Teknik Analisa Data

Analisis data merupakan tahapan penelitian yang dilakukan untuk mengolah data hasil pengumpulan menjadi informasi yang sistematis sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam menjawab rumusan masalah dan menarik kesimpulan. Pada penelitian ini, analisis data menggunakan metode deskriptif kualitatif

yang berfokus pada penyajian serta interpretasi data berdasarkan kondisi dan fenomena yang terjadi selama proses pengujian. Pendekatan ini dipilih karena mampu menggambarkan karakteristik objek penelitian, hubungan antarvariabel, serta berbagai fenomena yang muncul selama pelaksanaan penelitian. Data yang diperoleh dari hasil pengukuran alat selanjutnya diolah melalui penyusunan dalam bentuk tabel, dilakukan perhitungan sesuai kebutuhan analisis, kemudian disajikan dalam bentuk grafik agar hasil penelitian lebih mudah dipahami, sehingga performa alat, keterkaitan antarvariabel, dan hasil pengujian dapat dianalisis secara lebih jelas dan sistematis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilaksanakan melalui serangkaian proses pengukuran dan perhitungan secara langsung terhadap setiap parameter yang diamati. Pengukuran debit aliran air dilakukan menggunakan *V-Notch Weir*, sedangkan besarnya beban ditentukan dengan menggunakan neraca, dan kecepatan putaran turbin diukur menggunakan *tachometer*. Untuk meningkatkan tingkat ketelitian dan mengurangi kemungkinan terjadinya kesalahan pengukuran, setiap parameter diukur sebanyak tiga kali pada setiap variasi pengujian, kemudian nilai yang diperoleh diolah dan dianalisis menggunakan persamaan yang telah ditetapkan dalam penelitian. Seluruh hasil pengukuran selanjutnya disusun secara sistematis dalam bentuk tabel dan divisualisasikan melalui grafik sehingga memudahkan proses pengamatan, perbandingan, serta analisis terhadap pengaruh setiap variasi yang diterapkan. Adapun proses pengolahan data dilakukan berdasarkan rumus-rumus perhitungan yang digunakan dalam penelitian ini :

- Kapasitas Aliran Air (Q)

$$Q = c_d \left(\frac{8}{15} \right) \sqrt{2g} \tan \left(\frac{\theta}{2} \right) H^{\frac{5}{2}} \dots (1)$$

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 nosel (A)

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

Dengan:

A = Luasan ujung nosel (m²).

d = diameter ujung nosel (m).

- Kecepatan Aliran (v)

$$v = \frac{Q}{A} \dots (3)$$

Dengan:

v = Kecepatan aliran (m/s).

Q = Kapasitas aliran air (m³/s).

A = Luasan ujung nosel (m²).

- Kecepatan anguler/tangensial (ω)

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \dots (4)$$

Dengan:

ω = Kecepatan anguler/tangensial (rad/s).

n = Putaran turbin (rpm).

- Gaya (F)

$$F = m \cdot g \dots (5)$$

Dengan:

F = Gaya (N)

m = Beban (kg)

- Torsi (T)

$$T = F \cdot r \dots (6)$$

Dengan:

T = Torsi (N.m)

F = Gaya (N)

r = Lengan / jari-jari (m)

- Daya Turbin

$$P_t = T \cdot \omega \dots (7)$$

Dengan:

P_t = Daya turbin (Watt)

T = Torsi (N.m)

ω = Kecepatan anguler (rad/s)

- Daya air (P_a)

Untuk menghitung daya air menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P_a = P_k + P_p \dots (2.7)$$

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \dots (2.8)$$

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot V \dots (2.9)$$

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

$$P_k = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \dots (2.11)$$

$$P_h = \frac{F}{A} = \frac{\rho \cdot A \cdot g \cdot h}{A} = \rho \cdot g \cdot h \dots (2.12)$$

$$P_p = Q \times P_h \dots (2.13)$$

Dengan:

P_a = Daya air (watt)

P_p = Daya Potensial (watt).

P_k = Daya kinetik (watt).

A = Luas ujung nozzle (m²)

v = Kecepatan aliran (m/s)

Q = Kapasitas aliran turbin (m³/s)

P_h = Tekanan Hidrostatik (N/m²)

$\dot{m}$ = Laju Aliran Massa (Kg/s)

- Efisiensi Turbin (η)

$$\eta = \frac{P_t}{P_a} \cdot 100\% \dots (11)$$

Dengan:

η = Efisiensi turbin (%)

P_t = Daya turbin (Watt)

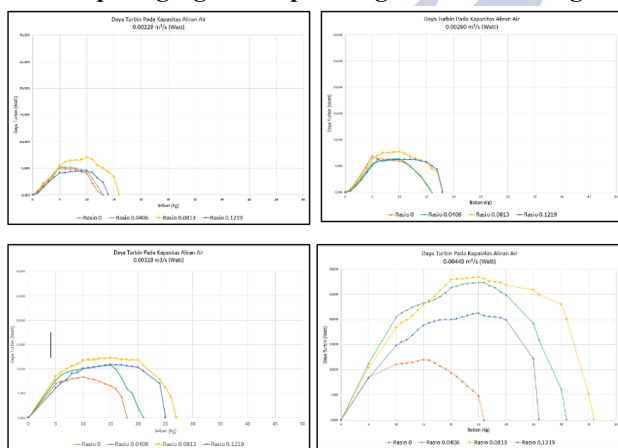
P_a = Daya air (Watt)

Pembahasan

Data hasil pengukuran yang telah diperoleh kemudian diolah untuk menentukan nilai daya dan efisiensi turbin berdasarkan parameter yang diamati

selama proses pengujian. Hasil perhitungan tersebut selanjutnya disusun dalam bentuk tabel dan divisualisasikan melalui grafik agar penyajian data menjadi lebih jelas, sistematis, dan mudah dianalisis. Untuk mempermudah proses evaluasi, data juga diklasifikasikan berdasarkan kapasitas aliran air yang dihasilkan pada setiap variasi bukaan katup, sehingga perbandingan kinerja turbin pada masing-masing kondisi pengujian dapat dilakukan secara lebih terstruktur. Penyajian data tersebut juga bertujuan untuk memperlihatkan hubungan antara perubahan variabel yang diuji dengan performa turbin yang dihasilkan, sehingga pengaruh setiap variasi terhadap daya dan efisiensi dapat dianalisis secara lebih komprehensif.

A. Perbandingan Daya Turbin Pelton Variasi Rasio Ketinggian Sudu dengan Diameter Luar Turbin pada Sudu Tipe Segitiga V Terpancung Posisi Melintang



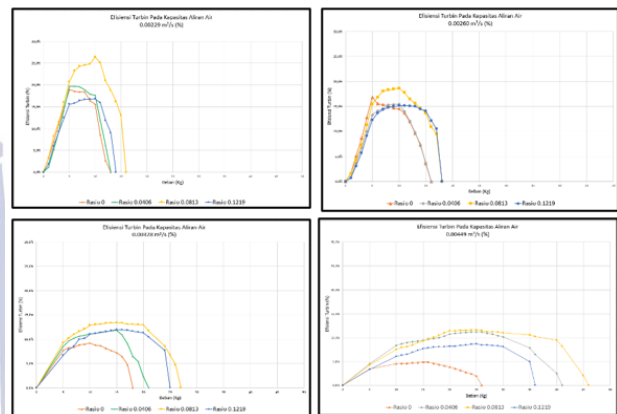
Gambar 5. Grafik Daya Turbin Pada Setiap Kapasitas Aliran Air

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi rasio ketinggian sudu terhadap diameter luar turbin Pelton berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan pada setiap kapasitas aliran air. Pada kapasitas aliran $0,00229 \text{ m}^3/\text{s}$ diperoleh daya tertinggi sebesar 6,993 Watt, sedangkan pada kapasitas aliran $0,00260 \text{ m}^3/\text{s}$ daya maksimum meningkat menjadi 7,685 Watt. Peningkatan daya juga terjadi pada kapasitas aliran $0,00328 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan nilai 12,227 Watt, dan mencapai nilai tertinggi sebesar 28,405 Watt pada kapasitas aliran $0,00449 \text{ m}^3/\text{s}$. Seluruh nilai daya maksimum tersebut diperoleh pada rasio 0,0813, yang menunjukkan bahwa rasio tersebut merupakan konfigurasi paling efektif dalam memanfaatkan energi jet air.

Berdasarkan teori segitiga kecepatan, kondisi ini terjadi karena keseimbangan antara kecepatan jet air (c_1), kecepatan keliling sudu (u_1), dan kecepatan relatif (v_1) mampu menghasilkan transfer energi yang lebih optimal sehingga gaya impuls yang bekerja pada sudu menjadi lebih besar. Hasil penelitian ini juga memperlihatkan bahwa semakin besar kapasitas aliran air, semakin tinggi daya turbin yang dihasilkan selama kondisi operasi masih berada pada batas optimum. Sebaliknya, rasio 0 dan 0,0406 menghasilkan daya yang lebih rendah karena tinggi

sudu belum mampu menangkap semburan air secara maksimal, sedangkan rasio 0,1219 menyebabkan jarak antar sudu menjadi lebih sempit sehingga aliran air tidak mengalir secara optimal ke dalam sudu. Kondisi tersebut mengurangi efektivitas perpindahan energi dan menyebabkan daya turbin lebih rendah dibandingkan rasio 0,0813 yang memberikan konfigurasi geometri sudu paling optimum.

B. Perbandingan Efisiensi Turbin Pelton Variasi Rasio Ketinggian Sudu Dengan Diameter Luar Turbin Pada Sudu Segitiga V Terpancung Posisi Melintang.



Gambar 6. Grafik Efisiensi Turbin Pada Setiap Kapasitas Aliran Air

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi rasio ketinggian sudu terhadap diameter luar turbin Pelton memengaruhi nilai efisiensi pada setiap kapasitas aliran air yang diuji. Rasio 0,0813 secara konsisten menghasilkan efisiensi tertinggi, yaitu sebesar 26,39% pada kapasitas aliran $0,00229 \text{ m}^3/\text{s}$, 18,62% pada $0,00260 \text{ m}^3/\text{s}$, 13,39% pada $0,00328 \text{ m}^3/\text{s}$, dan 11,61% pada $0,00449 \text{ m}^3/\text{s}$. Hasil tersebut menunjukkan bahwa rasio 0,0813 merupakan konfigurasi yang paling efektif dalam mengoptimalkan konversi energi air menjadi energi mekanik.

Berdasarkan teori segitiga kecepatan, kondisi ini terjadi karena keseimbangan antara kecepatan jet air (c_1), kecepatan keliling sudu (u_1), dan kecepatan relatif (v_1) memungkinkan proses perpindahan energi berlangsung lebih efisien sehingga gaya impuls pada sudu menjadi lebih besar. Temuan ini juga memperlihatkan bahwa efisiensi tertinggi diperoleh pada kapasitas aliran terkecil karena kondisi aliran masih stabil dan mampu mengikuti kontur sudu dengan lebih baik. Sebaliknya, rasio 0 dan 0,0406 menghasilkan efisiensi yang lebih rendah akibat dimensi sudu yang relatif pendek sehingga pancaran air belum dimanfaatkan secara optimal. Sementara itu, rasio 0,1219 juga menunjukkan penurunan efisiensi karena sudu yang lebih tinggi menyebabkan jarak antar sudu semakin sempit, sehingga aliran air sulit memasuki dasar sudu dan memicu turbulensi serta rugi-rugi energi. Oleh karena itu, rasio 0,0813 merupakan konfigurasi yang paling optimum dalam menghasilkan efisiensi turbin pada seluruh variasi kapasitas aliran air yang diuji.

PENUTUP

Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil penelitian, daya maksimum yang dihasilkan turbin Pelton diperoleh pada rasio ketinggian sudu terhadap diameter luar sebesar 0,0813, yaitu mencapai 28,405 Watt pada kapasitas aliran air 0,00449 m³/s dengan pembebanan 25 kg. Nilai tersebut menunjukkan bahwa rasio 0,0813 merupakan konfigurasi geometri sudu yang paling efektif dalam memanfaatkan energi jet air dari nosel. Kondisi ini didukung oleh keseimbangan antara kecepatan jet air (c_1) dan kecepatan keliling sudu (u_1) yang menghasilkan kecepatan relatif (v_1) secara optimal, sehingga gaya impuls yang bekerja pada sudu menjadi lebih besar. Selain itu, meningkatnya kapasitas aliran air turut meningkatkan energi kinetik fluida yang tersedia untuk dikonversikan menjadi daya mekanik pada turbin.
2. Nilai efisiensi tertinggi pada penelitian ini dicapai oleh turbin dengan rasio 0,0813, yaitu sebesar 26,39% pada kapasitas aliran air 0,00229 m³/s dengan pembebanan 10 kg. Hasil tersebut menunjukkan bahwa konfigurasi rasio tersebut mampu menghasilkan proses konversi energi yang paling efektif dibandingkan variasi rasio lainnya. Pada kapasitas aliran yang lebih kecil, pancaran air dari nosel cenderung lebih stabil sehingga rugi-rugi energi akibat turbulensi, percikan, maupun penyimpangan aliran dapat dikurangi. Berdasarkan teori segitiga kecepatan, kondisi tersebut menghasilkan hubungan yang lebih seimbang antara kecepatan jet air (c_1), kecepatan keliling sudu (u_1), dan kecepatan relatif (v_1), sehingga perpindahan energi dari aliran air ke sudu berlangsung lebih optimal dan menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi..

Saran

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh variasi rasio tinggi sudu tipe U posisi melintang terhadap diameter luar turbin Pelton terhadap daya dan efisiensi, beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Pengujian turbin Pelton pada penelitian berikutnya disarankan menggunakan beban aktual, seperti generator atau lampu, sehingga kondisi pengoperasian yang diperoleh dapat lebih merepresentasikan aplikasi turbin pada penggunaan nyata.
2. Sistem pengukuran putaran turbin sebaiknya dikembangkan dengan memanfaatkan sensor RPM berbasis Arduino yang terintegrasi dengan komputer atau laptop. Penerapan sistem ini diharapkan dapat meningkatkan akurasi pengukuran sekaligus mempermudah proses pencatatan data secara otomatis dan real-time.
3. Penelitian selanjutnya juga disarankan mengombinasikan pengujian eksperimen dengan simulasi numerik menggunakan ANSYS. Pendekatan tersebut dapat digunakan untuk membandingkan hasil eksperimen dengan hasil simulasi, sehingga karakteristik aliran fluida, distribusi tekanan pada

sudu, serta validitas hasil penelitian dapat dianalisis secara lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Adanta, D., Sari, D. P., Syofii, I., Prakoso, A. P., Saputra, M. A. A., & Thamrin, I. (2023). Performance Comparison of Crossflow Turbine Configuration Upper Blade Convex and Curvature by Computational Method. *Civil Engineering Journal (Iran)*, 9(1), 154–165. <https://doi.org/10.28991/CEJ-2023-09-01-012>
- 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.
- Fauza, M., & Adiwibowo, P. H. (2023). Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Kelengkungan Sudu Berpenampang Lengkung Posisi Melintang Terhadap Daya Dan Efisiensi Pada Turbin Pelton. *Jurnal Teknik Mesin Unesa*, 11(02), 65–7
- Fitriansyah, Wahyudi, S., & Winarto. (2020). *Pengaruh Kedalaman Sudu Mangkuk terhadap Unjuk Kerja Turbin Kinetik*. August, 323–329.
- Wicaksana, M. Y. A., & Adiwibowo, P. H. (2023). STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH KEDALAMAN SUDU MANGKUK TUNGGAL TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI TURBIN PELTON. *Jurnal Teknik Mesin*, 11(02), 1–10.
- Wiyono, A., Heryana, G., Rahayu, W., Prakoso, A. P., & Berman, E. T. (2018). Karakterisasi Performansi Modifikasi Sudu Dan Variasi Head Total Turbin Pelton 9 Sudu. *Teknik Mesin UNTIRTA*, IV(2), 87–90.