

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI RASIO KETINGGIAN SUDU DENGAN DIAMETER LUAR TURBIN SUDU TIPE U SIKU POSISI MELINTANG TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI TURBIN PELTON

Rafi Febian Fagi

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

Email: rafi.22047@mhs.unesa.ac.id

Priyo Heru Adiwibowo

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

Email: priyoheruadiwibowo@unesa.ac.id

ABSTRAK

Kebutuhan energi listrik yang terus meningkat mendorong pengembangan sumber energi terbarukan, salah satunya melalui Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Turbin Pelton sebagai komponen utama PLTMH memiliki kinerja yang sangat dipengaruhi oleh desain sudu. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi rasio ketinggian sudu terhadap diameter luar turbin pada sudu turbin Pelton tipe U siku posisi melintang terhadap daya dan efisiensi yang dihasilkan. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dengan variasi rasio sebesar 0, 0,0295, 0,0591, dan 0,0887. Pengujian dilakukan menggunakan turbin Pelton poros horizontal dengan 8 sudu dan nosel berdiameter 25,4 mm pada jarak semprot 50 mm. Variasi kapasitas aliran diperoleh dari bukaan globe valve 90°, 100°, 110°, dan 120° dengan debit berturut-turut sebesar 0,00229 m³/s, 0,00260 m³/s, 0,00328 m³/s, dan 0,00449 m³/s. Kecepatan aliran yang dihasilkan masing-masing sebesar 4,517 m/s, 5,127 m/s, 6,474 m/s, dan 8,669 m/s. Variasi pembebanan dilakukan mulai 5 kg hingga turbin berhenti beroperasi. Parameter yang diamati meliputi daya output dan efisiensi turbin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya tertinggi sebesar 34,770 Watt diperoleh pada rasio 0,0591 dengan debit 0,00449 m³/s, kecepatan aliran 8,669 m/s, dan pembebanan 40 kg. Efisiensi tertinggi sebesar 32,17% juga diperoleh pada rasio 0,0591 dengan debit 0,00229 m³/s, kecepatan aliran 4,517 m/s, dan pembebanan 10 kg. Berdasarkan hasil penelitian, rasio 0,0591 menghasilkan kinerja turbin paling optimal dibandingkan variasi rasio lainnya

Kata Kunci: Energi, Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH), Turbin Pelton, Sudu Tipe U Siku, Daya, dan Efisiensi.

Abstract

The increasing demand for electrical energy encourages the development of renewable energy sources, one of which is Micro Hydro Power Plants (MHPPs). The Pelton turbine, as the main component of an MHPP system, has performance that is strongly influenced by bucket design. This study aims to analyze the effect of variations in the ratio of bucket height to turbine outer diameter on the power and efficiency produced by a transverse-position U-elbow type Pelton turbine bucket. The research method used was a laboratory experimental method with ratio variations of 0, 0.0295, 0.0591, and 0.0887. The tests were carried out using a horizontal-shaft Pelton turbine with 8 buckets and a nozzle diameter of 25.4 mm at a spraying distance of 50 mm. Variations in flow capacity were obtained from globe valve openings of 90°, 100°, 110°, and 120°, producing flow rates of 0.00229 m³/s, 0.00260 m³/s, 0.00328 m³/s, and 0.00449 m³/s, respectively. The resulting flow velocities were 4.517 m/s, 5.127 m/s, 6.474 m/s, and 8.669 m/s, respectively. Loading variations were applied from 5 kg until the turbine stopped operating. The observed parameters were output power and turbine efficiency. The results showed that the highest power output of 34.770 Watts was obtained at a ratio of 0.0591 with a flow rate of 0.00449 m³/s, a flow velocity of 8.669 m/s, and a load of 40 kg. The highest efficiency of 32.17% was also achieved at a ratio of 0.0591 with a flow rate of 0.00229 m³/s, a flow velocity of 4.517 m/s, and a load of 10 kg. Based on the results, the 0.0591 ratio produced the most optimal turbine performance compared to the other ratio variations.

Keywords: Energy, Micro Hydro Power Plant (MHPP), Pelton Turbine, U Shaped Bucket, Power, and Efficiency.

PENDAHULUAN

Energi merupakan kemampuan untuk melakukan kerja yang berperan penting dalam berbagai aktivitas, seperti menghasilkan gerakan, panas, dan listrik. Energi listrik menjadi kebutuhan utama, terutama di sektor industri yang bergantung pada pasokan stabil. Namun, meningkatnya kebutuhan listrik serta ketergantungan pada energi fosil menimbulkan risiko krisis energi dan dampak lingkungan seperti emisi karbon dan perubahan iklim.

Sebagai solusi, Energi Baru Terbarukan (EBT) dikembangkan karena bersifat berkelanjutan dan ramah lingkungan, seperti energi air, angin, dan surya. Indonesia

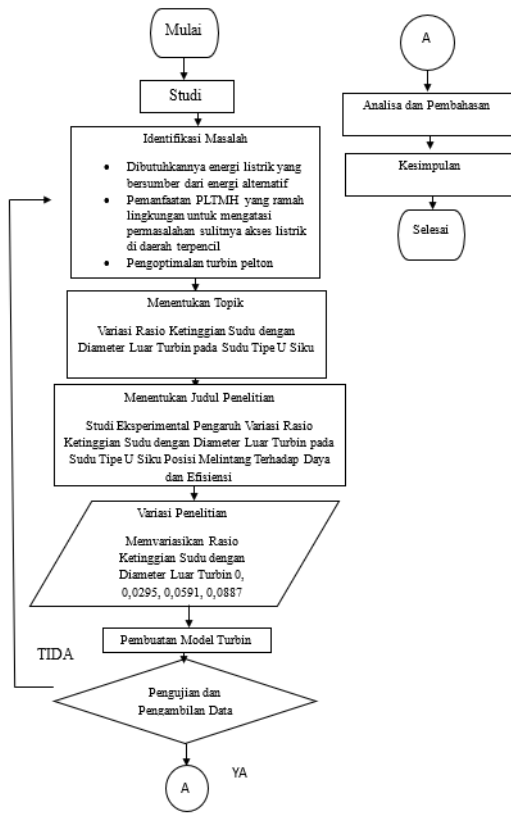
memiliki potensi besar, khususnya energi air yang dapat dimanfaatkan melalui Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH), terutama di daerah terpencil.

PLTMH memanfaatkan energi potensial dan kinetik air untuk menggerakkan turbin. Salah satu turbin yang umum digunakan adalah turbin Pelton, yaitu turbin impuls yang bekerja dengan semburan jet air bertekanan tinggi. Turbin ini cocok untuk kondisi head tinggi dan debit rendah, serta memiliki keunggulan dalam efisiensi dan kemudahan perawatan.

Berbagai inovasi dari penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk meningkatkan keoptimalan kinerja pada turbin pelton. Dikarenakan belum atau kurangnya penelitian dengan menggunakan bentuk sudu tipe U siku

Keterangan :

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



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

Teknik Pengumpulan Data

Data penelitian dikumpulkan untuk memperoleh informasi yang diperlukan dalam menjawab rumusan masalah serta mencapai tujuan penelitian yang telah ditetapkan. Informasi yang diperoleh digunakan untuk menguji hipotesis atau dugaan sementara yang telah dirumuskan sebelumnya. Jenis dan jumlah data yang dikumpulkan disesuaikan dengan variabel penelitian yang menjadi objek pengamatan. Pada penelitian ini, proses pengumpulan data dilakukan melalui pengujian dan pengukuran secara langsung terhadap objek penelitian. Hasil pengukuran yang diperoleh kemudian dicatat dan didokumentasikan sebagai bahan analisis untuk mengevaluasi pengaruh variabel yang diteliti.

Teknik Analisa Data

Proses analisis data merupakan tahapan penting dalam penelitian yang bertujuan untuk mengolah dan menginterpretasikan data yang telah diperoleh sehingga menghasilkan informasi yang bermakna. Melalui kegiatan ini, data yang masih bersifat mentah disusun, diklasifikasikan, dan dianalisis secara sistematis agar dapat memberikan pemahaman yang jelas mengenai

fenomena yang diteliti. Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah analisis data deskriptif kualitatif. Metode tersebut digunakan untuk menjelaskan dan mengkaji fenomena secara mendalam berdasarkan data hasil pengujian serta fakta-fakta yang diperoleh secara langsung selama pelaksanaan penelitian. Hasil analisis kemudian digunakan sebagai dasar dalam menarik kesimpulan sesuai dengan tujuan penelitian yang telah ditetapkan..

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Pada penelitian ini, data diperoleh melalui pengukuran langsung dan perhitungan matematis. Debit aliran air diukur menggunakan V-Notch weir, pembebanan ditentukan dengan neraca, sedangkan putaran turbin diukur menggunakan tachometer. Untuk memperoleh hasil yang lebih akurat, setiap parameter dilakukan pengukuran sebanyak tiga kali, kemudian data yang diperoleh diolah menggunakan persamaan yang sesuai. Hasil pengolahan data disajikan dalam bentuk grafik untuk mempermudah analisis dan perbandingan antar variasi perlakuan pada penelitian. Selanjutnya, data dihitung menggunakan rumus-rumus berikut.

- Kapasitas Aliran Air (Q)

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

Dengan:

Q = Kapasitas Aliran Air (m³/s)

C_d = 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)

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

Dengan:

A = Luasan ujung nosel (m²).

d = diameter ujung nosel (m).

- Kecepatan Aliran (v)

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

Dengan:

v = Kecepatan aliran (m/s).

Q = Kapasitas aliran air (m³/s).

A = Luasan ujung nosel (m²).

- Kecepatan anguler/tangensial (ω)

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

Dengan:

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

n = Putaran turbin (rpm).

- Gaya (F)

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

Dengan:

F = Gaya (N)

m = Beban (kg)

g = Gravitasi (9,81 m/s²)

- Torsi (T)

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

Dengan:

T = Torsi (N.m)

F = Gaya (N)

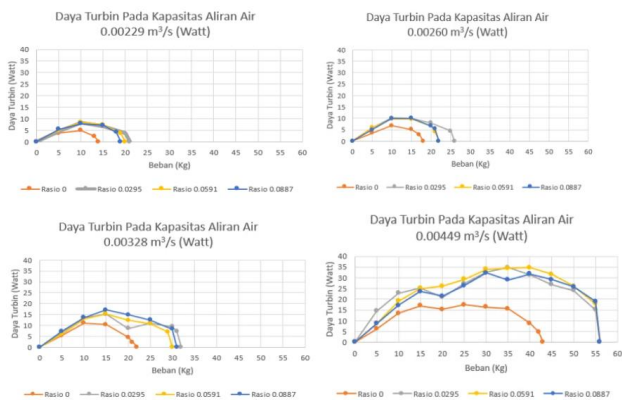
r = Lengan / jari-jari (m)

- Daya Turbin
 $P_t = T \cdot \omega \dots \dots \dots (7)$
 Dengan:
 P_t = Daya turbin (Watt)
 T = Torsi (N.m)
 ω = Kecepatan angular (rad/s)
- Daya air (Pa)
 $P_a = P_k + P_p \dots \dots \dots (8)$
 $P_k = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \dots \dots \dots (9)$
 $P_p = Q \cdot P_h \dots \dots \dots (10)$
 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)
- Efisiensi Turbin (η)
 $\eta = \frac{P_t}{P_a} \cdot 100\% \dots \dots \dots (11)$
 Dengan:
 η = Efisiensi turbin (%)
 P_t = Daya turbin (Watt)
 P_a = Daya air (Watt)

Pembahasan

Data yang diperoleh digunakan untuk menghitung daya dan efisiensi turbin. Hasil perhitungan kemudian disajikan dalam bentuk grafik, yang diklasifikasikan berdasarkan kapasitas aliran air pada setiap variasi bukaan katup yang diterapkan.

A. Perbandingan Daya Turbin Pelton Variasi Rasio Tinggi dengan Diameter Luar Tipe Sudu Tipe U Siku Posisi Melintang.



Gambar 5. Grafik Daya Turbin Pada Setiap Kapasitas Aliran Air

berdasarkan gambar diatas menunjukkan bahwa dengan memvariasikan rasio antara ketinggian sudu dengan diameter luar turbin pelton dapat mempengaruhi daya yang dihasilkan. pada kapasitas aliran air 0,00229 m³/s daya tertinggi didapatkan pada turbin dengan rasio 0,0591 dengan nilai daya sebesar 8,525 Watt pada pembebanan 10 kg. pada kapasitas aliran air 0,00260 m³/s

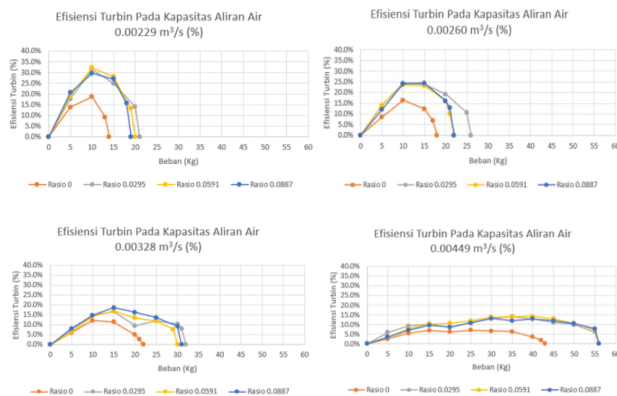
daya tertinggi didapatkan pada turbin dengan rasio 0,0295 dengan nilai daya sebesar 10,111 Watt pada pembebanan 10 kg. pada kapasitas aliran air 0,00328 m³/s didapatkan daya tertinggi pada turbin dengan rasio 0,0887 yaitu sebesar 17,063 Watt pada pembebanan 15 kg. pada kapasitas aliran air 0,00449 m³/s daya tertinggi didapatkan pada turbin dengan rasio 0,0591 yaitu sebesar 34,770 pada pembebanan 40 kg. Pada penelitian ini, dari perbandingan keempat rasio, daya tertinggi didapatkan pada kapasitas aliran air 0,00449 m³/s dengan turbin rasio 0,0591 dengan nilai sebesar 34,770 Watt pada pembebanan 40 kg. disamping itu, turbin dengan rasio 0 memiliki daya terendah di setiap variasi kapasitas aliran air jika dibandingkan dengan rasio yang lain.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh bahwa daya turbin maksimum terjadi pada kondisi kapasitas aliran air terbesar yang digunakan dalam pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan debit aliran air memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan energi kinetik yang diterima oleh sudu turbin, sehingga menghasilkan daya keluaran yang lebih besar. Peningkatan kapasitas aliran air (debit) akan meningkatkan daya turbin, karena sudu menerima semburan air yang lebih banyak dari nosel. Semakin besar debit yang keluar dari nosel, maka semakin besar momentum jet yang mengenai sudu, sehingga menghasilkan putaran turbin yang lebih kuat. Meskipun terdapat perbedaan pada konfigurasi dan parameter penelitian, seperti variasi geometri sudu atau kondisi pengujian, kecenderungan peningkatan daya terhadap bertambahnya kapasitas aliran air tetap menunjukkan kesesuaian secara prinsip. Hal ini memperkuat bahwa debit aliran merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi performa turbin Pelton. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa hasil penelitian ini mendukung teori dan penelitian sebelumnya, di mana kapasitas aliran air yang lebih besar mampu menghasilkan daya turbin yang lebih tinggi, selama kondisi sistem masih berada dalam batas operasional yang optimal.

Rasio 0,0591 menghasilkan daya tertinggi pada kapasitas aliran 0,00449 m³/s karena pada kondisi tersebut kecepatan absolut jet air (c_1) berada pada variasi paling besar, sehingga diperlukan kecepatan sudu (u_1) yang sebanding agar interaksi energi berlangsung optimal. Berdasarkan hubungan segitiga kecepatan yaitu kecepatan relatif terhadap sudu (v_1) didapatkan dari selisih antara kecepatan absolut (c_1) dan kecepatan sudu atau keliling (u_1), kinerja terbaik dicapai ketika selisih antara kecepatan absolut (c_1) dan kecepatan sudu (u_1) menghasilkan kecepatan relatif (v_1) yang cukup untuk memberikan gaya dorong besar, namun tidak terlalu besar sehingga menimbulkan kehilangan energi akibat tumbukan yang berlebihan. Pada rasio 0,0591, nilai kecepatan sudu (u_1) berada pada proporsi yang paling sesuai terhadap peningkatan kecepatan absolut (c_1), pada debit terbesar tersebut, sehingga aliran relatif masuk ke sudu dalam kondisi yang paling efektif untuk mentransfer energi. Pada rasio yang lebih kecil, kecepatan sudu (u_1) terlalu rendah dibandingkan kecepatan absolut (c_1) sehingga selisih kecepatan terlalu besar dan sebagian energi jet tidak termanfaatkan secara optimal atau terbuang. Sebaliknya,

pada rasio yang lebih besar, kecepatan sudu (u_1) terlalu mendekati kecepatan absolut (c_1) sehingga selisih kecepatan mengecil dan gaya dorong yang dihasilkan berkurang dan akan menghasilkan aliran acak. Oleh karena itu, rasio 0,0591 memberikan keseimbangan terbaik dalam segitiga kecepatan dan menghasilkan daya maksimum dibandingkan rasio lainnya.

B. Perbandingan Efisiensi Turbin Pelton Variasi Rasio Tinggi Sudu dengan Diameter Luar Sudu Tipe U Siku Posisi Melintang



Gambar 6. Grafik Efisiensi Turbin Pada Setiap Kapasitas Aliran Air

Berdasarkan gambar diatas menunjukkan bahwa adanya pengaruh variasi rasio antara ketinggian sudu dengan diameter luar turbin pelton terhadap efisiensi turbin yang dihasilkan. pada kapasitas aliran air 0,00229 m^3/s efisiensi tertinggi didapatkan pada turbin dengan rasio 0,0591 yaitu sebesar 32,17% pada pembebanan 10 kg. pada kapasitas aliran air 0,00260 m^3/s efisiensi tertinggi didapatkan pada turbin dengan rasio 0,0295 yaitu sebesar 24,49% pada pembebanan 10 kg. pada kapasitas aliran air 0,00328 m^3/s efisiensi tertinggi didapatkan dengan nilai sebesar 18,69% pada turbin rasio 0,887 dengan pembebanan 15 kg. pada kapasitas aliran air 0,00449 m^3/s didapatkan efisiensi tertinggi pada turbin rasio 0,0591 dengan nilai sebesar 14,21% pada pembebanan 40 kg. Pada penelitian ini, dari keempat variasi turbin dengan rasio tersebut, efisiensi tertinggi didapatkan pada turbin rasio 0,0591 dengan nilai efisiensi sebesar 32,17% pada kapasitas aliran air 0,00229 m^3/s dengan pembebanan 10 kg. disamping itu, turbin rasio 0 memiliki efisiensi terendah di setiap variasi kapasitas aliran air jika dibandingkan dengan rasio yang lain.

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh bahwa efisiensi turbin tertinggi terjadi pada kapasitas aliran air terkecil. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi debit yang lebih rendah, aliran air cenderung lebih stabil sehingga interaksi antara jet dan sudu berlangsung lebih efektif. Pada kondisi ini, sudu turbin mampu menerima dan memanfaatkan energi aliran air secara lebih optimal, karena arah dan distribusi jet relatif lebih terkontrol. Akibatnya, proses transfer energi kinetik menjadi energi mekanik dapat terjadi dengan lebih efisien dan meminimalkan kerugian energi. Efisiensi turbin diperoleh dari perbandingan antara daya turbin yang dihasilkan terhadap daya air yang tersedia pada aliran. Rasio 0,0591

menghasilkan efisiensi tertinggi karena pada rasio ini daya turbin yang dihasilkan paling besar terhadap daya air terkecil jika dibandingkan dengan daya turbin rasio lainnya, yang dimana hal tersebut menjadikan perbandingan daya turbin dan daya air yang masuk menghasilkan efisiensi yang lebih besar. Pada rasio yang lebih kecil, sebagian energi air tidak termanfaatkan secara optimal karena interaksi antara aliran dan sudu kurang efektif, sehingga daya turbin yang dihasilkan relatif lebih kecil terhadap daya airnya. Sementara itu, pada rasio yang lebih besar, meskipun daya air meningkat seiring bertambahnya debit, peningkatan daya turbin tidak sebanding akibat adanya kehilangan energi seperti turbulensi dan percikan, sehingga nilai efisiensinya menurun.

Jika ditinjau dari segitiga kecepatan dengan hubungan kecepatan relatif (v_1) adalah selisih antara kecepatan jet air (c_1) dan kecepatan sudu (u_1), efisiensi maksimum terjadi ketika perbandingan antara kecepatan jet air (c_1) dan kecepatan sudu (u_1) menghasilkan kecepatan relatif (v_1) yang optimal. Pada rasio 0,0591, nilai kecepatan sudu (u_1) berada pada proporsi yang paling sesuai terhadap kecepatan absolut atau jet air (c_1) sehingga aliran relatif dapat masuk dan mengikuti permukaan sudu dengan baik. Kondisi ini meminimalkan kehilangan energi akibat tumbukan yang tidak sempurna dan memungkinkan transfer energi berlangsung lebih efektif. Pada rasio yang terlalu kecil, selisih kecepatan jet air (c_1) dengan kecepatan sudu (u_1) terlalu besar sehingga sebagian energi terbuang, sedangkan pada rasio yang terlalu besar selisih kecepatan jet air (c_1) dengan kecepatan sudu (u_1) terlalu kecil sehingga gaya dorong berkurang. Oleh karena itu, rasio 0,0591 memberikan kondisi keseimbangan terbaik dalam segitiga kecepatan dan menghasilkan efisiensi tertinggi..

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan tentang rasio ketinggian sudu dengan diameter luar turbin pada sudu tipe u siku posisi melintang, maka dapat diberikan kesimpulan yaitu:

1. Pada penelitian ini, daya tertinggi diperoleh pada turbin rasio 0,0591 sebesar 34,770 Watt pada kapasitas aliran air 0,00449 m^3/s dengan pembebanan 40 kg. Rasio 0,0591 menghasilkan kinerja terbaik karena memberikan keseimbangan optimal antara kecepatan absolut aliran (c_1), kecepatan sudu (u_1), dan kecepatan relatif (v_1). Rasio yang terlalu tinggi menyebabkan turbulensi saat air menabrak sudu sehingga gaya dorong tidak maksimal, sedangkan rasio yang terlalu rendah membuat transfer energi jet air ke sudu menjadi kurang efektif.
2. Efisiensi tertinggi diperoleh pada turbin rasio 0,0591 sebesar 32,17% pada kapasitas aliran air 0,00229 m^3/s dengan pembebanan 10 kg. Efisiensi optimum terjadi ketika daya turbin yang dihasilkan besar dengan daya masuk yang relatif kecil. Rasio 0,0591 menghasilkan efisiensi tertinggi karena kecepatan sudu (u_1) paling seimbang terhadap kecepatan jet air

(c_1), sehingga kecepatan relatif (v_1) bekerja optimal. Kondisi ini meminimalkan kehilangan energi akibat tumbukan dan membuat transfer energi air ke sudu berlangsung lebih efektif dibandingkan rasio lainnya.

Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai bukaan sudut pada sudu tipe U siku
2. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan pembebanan aktual, seperti beban listrik atau lampu, agar kinerja turbin Pelton dapat dievaluasi secara lebih aplikatif dan mendekati kondisi operasional nyata.
3. Penggunaan sistem pengukuran RPM berbasis Arduino yang terintegrasi dengan laptop guna meningkatkan keakuratan dan efisiensi pengambilan data secara otomatis.

DAFTAR PUSTAKA

- Gunawan Sihombing. (2020). Transformator Energi, Potensi Dan Pengujian Model Energi. *Jurnal Syntax Transformation*, 1(9), 612–618. <https://doi.org/10.46799/jst.v1i9.150>
- J.Pritchard, P. (2011). *Fox AND McDonald's Introduction To Fluid Mechanics*. Wiley, New York
- Krisnanik, E., Rahayu, T., & Muliawati, A. (2022). *Pendahuluan Metode Pengabdian*. 2(2), 233–239.
- Rafflesia, P., Kunci, K., & Air, T. (2022). *Jumadi Bayuanto, 2 Fadhel Putra Winarta, 3 Elda Permata Sari Politeknik Rafflesia*. 2(2).
- Rehalat, A. (2023). Analisis Keterampilan Bertanya Guru Ekonomi Pada Kelas VII Di SMP Kartika Ambon. *Journal Perspektif Pendidikan Dan Keguruan*, 14(1), 37-44
- Rahmawan, I., & Solehudin, A. (2024). Analisis Mekanisme Turbin Pembangkit Listrik Bertenagakan Air. *Journal Rekayasa Industri dan Mesin (ReTIMS)*, 6(1), 25-30.
- Sinaga, D. H., Sasue, R. R. O., & Hutahaeon, H. D. (2021). Pemanfaatan Energi Terbarukan Dengan Menerapkan Smart Grid Sebagai Jaringan Listrik Masa Depan. *Journal Zetroem*, 3(1), 11–17.
- Wardana, D. A. (2023). Pengaturan hukum tentang pemanfaatan biogas sebagai energi terbarukan dalam mendorong ekonomi hijau (green economy) di Indonesia. *Jurnal Bevinding*, 1(05), 27-42.