

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI RASIO TINGGI SUDU SEGITIGA V TERPANCUNG POSISI SEJAJAR TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI TURBIN PELTON

Rayhan Aulia Iman Fani

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

Email: rayhanaulia.22110@mhs.unesa.ac.id

Priyo Heru Adiwibowo

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

Email: priyoheruadiwibowo@unesa.ac.id

ABSTRAK

Ketergantungan Indonesia terhadap energi berbasis fosil masih menimbulkan dampak lingkungan yang signifikan, sehingga pengembangan energi terbarukan menjadi semakin penting untuk mendukung keberlanjutan jangka panjang. Energi air merupakan salah satu potensi energi terbarukan terbesar di Indonesia dengan perkiraan kapasitas sekitar 75.000 MW, meskipun tingkat pemanfaatannya masih terbatas. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) menjadi salah satu solusi yang sesuai, khususnya untuk daerah pedesaan dengan ketersediaan debit air yang rendah. Turbin Pelton banyak digunakan pada sistem PLTMH karena mampu bekerja secara efisien pada kondisi head tinggi dan debit rendah, namun desain sudu konvensional berbentuk mangkuk masih memiliki keterbatasan dalam mengoptimalkan penangkapan energi aliran pada kondisi debit kecil. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi rasio tinggi sudu segitiga V terpancung posisi sejajar terhadap diameter luar turbin terhadap daya dan efisiensi turbin Pelton. Penelitian dilakukan secara eksperimental di laboratorium menggunakan runner berdiameter 246 mm dan nosel berdiameter 25,4 mm, dengan pengaturan aliran menggunakan variasi bukaan globe valve 90°, 100°, 110°, dan 120°. Variasi rasio tinggi sudu yang diuji meliputi 0; 0,0162; 0,0325; dan 0,0487 dengan konfigurasi delapan sudu bersudut 110°, serta variasi debit aliran 0,00229–0,00449 m³/s dengan kecepatan 4,517–8,669 m/s. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio 0,0325 memberikan performa paling optimal dibandingkan variasi lainnya. Pada kondisi tersebut, daya maksimum yang dihasilkan mencapai 53,944 Watt pada debit 0,00449 m³/s dengan beban 35 kg, sedangkan efisiensi tertinggi sebesar 50,26% diperoleh pada debit 0,00229 m³/s dengan beban 10 kg. Temuan ini menunjukkan bahwa modifikasi geometri sudu berpengaruh signifikan terhadap peningkatan kinerja turbin Pelton pada aplikasi PLTMH.

Kata kunci: Energi terbarukan, PLTMH, turbin Pelton, sudu segitiga V terpancung, efisiensi turbin, debit rendah.

ABSTRACT

Indonesia's dependence on fossil-based energy still causes significant environmental impacts, making the development of renewable energy increasingly important to support long-term sustainability. Hydropower is one of the largest renewable energy potentials in Indonesia, with an estimated capacity of around 75,000 MW, although its utilization remains limited. Micro Hydropower Plants (MHPP) are considered an appropriate solution, especially for rural areas with low water discharge availability. Pelton turbines are widely used in MHPP systems because they can operate efficiently under high head and low flow conditions; however, conventional bucket-shaped designs still have limitations in optimizing flow energy capture under low discharge conditions. This study aims to analyze the effect of variations in the height ratio of truncated V-shaped buckets in a parallel position relative to the turbine's outer diameter on the power output and efficiency of a Pelton turbine through experimental research conducted in a laboratory using a 246 mm diameter runner and a 25.4 mm nozzle, with flow regulation achieved through globe valve openings of 90°, 100°, 110°, and 120°. The bucket height ratios tested were 0, 0.0162, 0.0325, and 0.0487 with a configuration of eight buckets at a 110° angle, while flow discharge variations ranged from 0.00229 to 0.00449 m³/s with velocities between 4.517 and 8.669 m/s. The results show that the 0.0325 ratio provides the most optimal performance, producing a maximum power output of 53.944 Watts at a discharge of 0.00449 m³/s with a 35 kg load, while the highest efficiency of 50.26% is achieved at a discharge of 0.00229 m³/s with a 10 kg load, indicating that geometric modifications of turbine buckets significantly influence Pelton turbine performance in MHPP application.

Keywords: renewable energy, MHPP, Pelton turbine, truncated V-shaped bucket, efficiency, low discharge

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk dan perkembangan teknologi. Namun, sebagian besar kebutuhan energi nasional masih bergantung pada bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan serta menurunkan cadangan energi. Oleh karena itu, pengembangan energi terbarukan menjadi langkah penting untuk mendukung ketahanan energi dan mengurangi dampak emisi karbon. Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar di Indonesia adalah energi air dengan kapasitas mencapai sekitar 75.000 MW, meskipun pemanfaatannya masih belum optimal.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) merupakan teknologi yang sesuai diterapkan di daerah pedesaan atau wilayah terpencil karena memanfaatkan aliran air sebagai sumber energi listrik. Dalam sistem PLTMH, turbin Pelton sering digunakan pada kondisi head tinggi dan debit rendah karena mampu mengubah energi kinetik air menjadi energi mekanik secara efektif. Akan tetapi, sudu konvensional berbentuk mangkuk masih memiliki kelemahan karena sangat sensitif terhadap arah semburan jet air sehingga menyebabkan turbulensi dan kehilangan energi.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa modifikasi bentuk sudu dapat meningkatkan daya dan efisiensi turbin. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini mengembangkan sudu segitiga V terpancung posisi sejajar untuk mengetahui pengaruhnya terhadap performa turbin Pelton. Modifikasi dilakukan dengan memangkas ujung sudu agar bidang tangkap aliran lebih luas sehingga energi kinetik air dapat dimanfaatkan secara maksimal dan menghasilkan efisiensi turbin yang lebih baik pada kondisi debit rendah.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang bertujuan untuk mengetahui hubungan sebab-akibat antar variabel melalui pengujian langsung di lingkungan terkontrol, baik di laboratorium maupun kondisi uji yang telah disesuaikan. Dalam penelitian ini dilakukan variasi rasio tinggi sudu segitiga V terpancung posisi sejajar terhadap diameter luar turbin untuk menganalisis pengaruhnya terhadap daya dan efisiensi turbin Pelton. Seluruh pengujian dilaksanakan di laboratorium dengan menggunakan peralatan yang telah disetting sesuai kebutuhan eksperimen. Pengambilan data dilakukan pada setiap variasi rasio tinggi sudu yang telah ditentukan, sementara beberapa variabel lain dijaga tetap seperti debit aliran air dan tinggi head. Pengendalian variabel ini bertujuan agar hasil yang diperoleh lebih objektif, konsisten, dan dapat dianalisis secara akurat dalam menggambarkan pengaruh perubahan rasio sudu terhadap kinerja turbin.

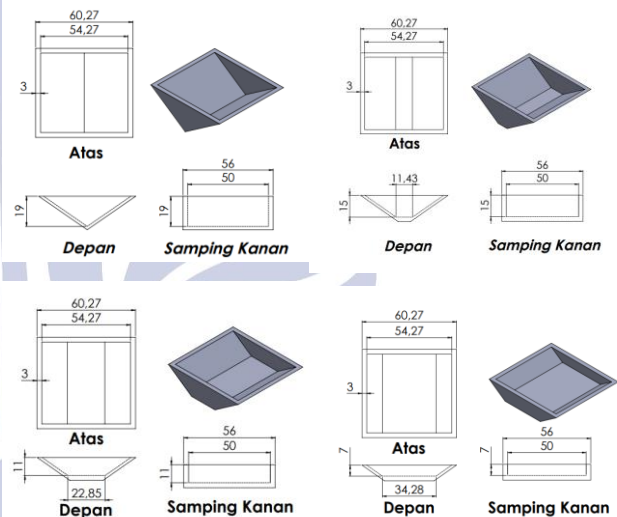
TEMPAT DAN WAKTU PENELITIAN

Penelitian yang berjudul Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Rasio Pada Tinggi Sudu Segitiga V Terpancung Posisi Sejajar Dengan Diameter Luar Turbin Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin Pelton dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Fluida, Gedung A.8 lantai 2,

Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya. Pelaksanaan penelitian ini dimulai setelah proposal tugas akhir diseminarkan dan dinyatakan disetujui, kemudian berlanjut hingga seluruh data yang diperlukan serta proses analisis berhasil dikumpulkan dan diselesaikan secara lengkap.

Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang memberikan pengaruh atau menjadi penyebab terjadinya perubahan pada variabel terikat. Dalam penelitian ini, variabel bebas yang ditetapkan berupa variasi rasio tinggi sudu segitiga V terpancung dengan posisi sejajar terhadap diameter luar turbin. Penelitian ini menggunakan sudu berbentuk segitiga V terpancung posisi sejajar dengan variasi tinggi sudu sebesar 0 mm, 4 mm, 8 mm, dan 12 mm, dengan diameter luar turbin 246 mm, yang dinyatakan dalam bentuk rasio (t/D).



Gambar 1. Desain sudu variasi rasio

Variabel Terikat

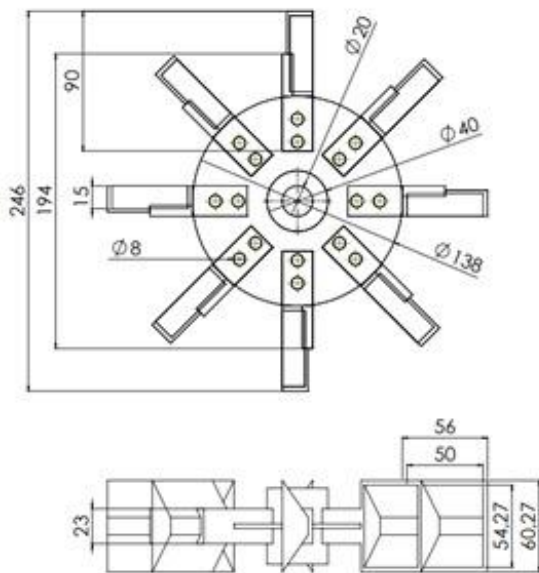
Variabel terikat dalam penelitian ini berupa daya dan efisiensi yang dihasilkan oleh turbin Pelton, yang dipengaruhi oleh perlakuan pada variabel bebas yang diberikan selama pengujian.

Variabel Kontrol

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

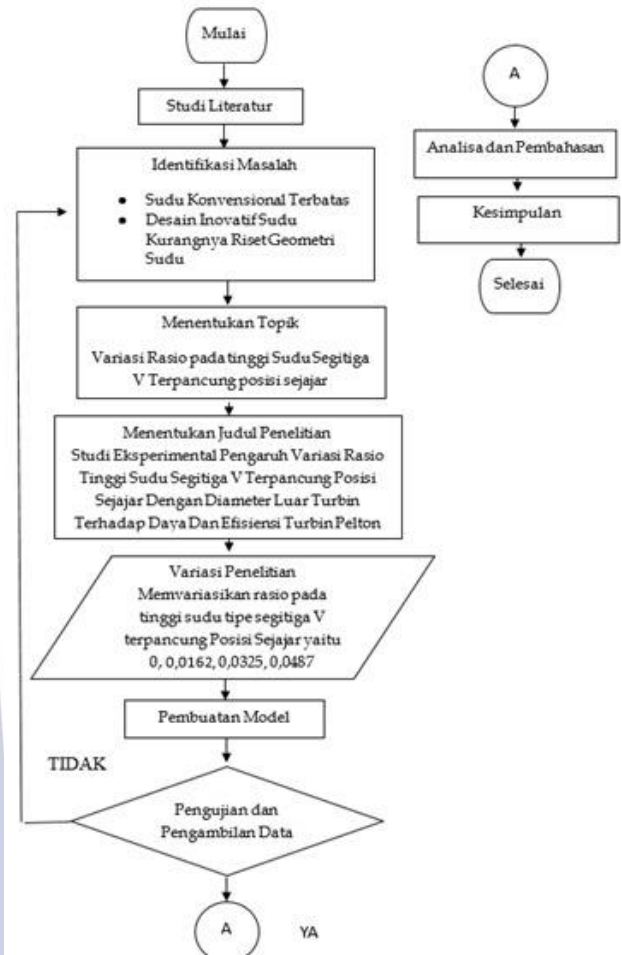
1. Fluida kerja yang digunakan adalah air.
2. Pada penelitian ini menggunakan kapasitas aliran sebesar 0,00229 m³/s dengan bukaan katup 90°, 0,00260 m³/s dengan bukaan katup 100°, 0,00328 m³/s dengan bukaan katup 110°, 0,00449 m³/s dengan bukaan katup 120°, dan kecepatan aliran sebesar 4,517 m/s, 5,127 m/s, 6,474 m/s, 8,669 m/s.
3. Diameter ujung nozzle sebesar 25,4 mm dengan jarak semprot nozzle 50 mm.

4. Penelitian ini tidak membahas material yang digunakan pada turbin.
5. Penelitian ini membahas prototype turbin pelton dengan poros horizontal.
6. Pembebanan sebesar 5 kg, 10 kg, 15 kg, dan seterusnya hingga turbin berhenti berputar.
7. Menggunakan runner berdiameter luar turbin 246 mm.
8. Menggunakan sudu berbentuk segitiga V terpancung posisi sejajar dengan variasi rasio pada tinggi sudu 0, 0,0162, 0,0325, 0,0487 dan menggunakan variasi jumlah sudu yaitu 8 Sudu dengan sudut 110°.



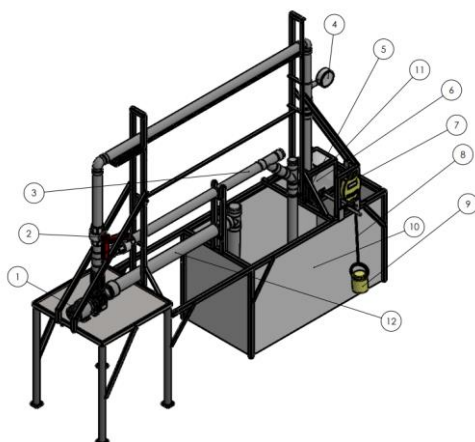
Gambar 2. Desain Runner

Diagram alir penelitian



Gambar 3. Diagram alir penelitian

Peralatan dan Instrumen Penelitian



Gambar 3. Desain Rancangan PLTMH

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 |

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan informasi yang diperlukan guna mencapai tujuan penelitian yang telah ditetapkan. Tujuan penelitian yang dirumuskan dalam bentuk hipotesis pada dasarnya merupakan dugaan sementara terhadap permasalahan yang diajukan. Jenis data yang dikumpulkan bergantung pada variabel-variabel yang tercantum dalam hipotesis penelitian. Dalam studi ini, teknik pengumpulan data dilakukan melalui proses pengukuran dan pengujian terhadap objek yang diteliti, kemudian hasilnya dicatat secara sistematis sebagai bahan analisis lebih lanjut.

Teknik Analisa Data

Analisis data merupakan proses sistematis untuk mengolah data mentah menjadi informasi yang lebih mudah dipahami sehingga dapat digunakan dalam pengambilan keputusan dan pemecahan masalah. Dalam penelitian ini digunakan pendekatan deskriptif kualitatif yang bertujuan untuk menjelaskan serta menggambarkan fenomena berdasarkan hasil pengamatan selama proses pengujian berlangsung, sekaligus memaparkan keterkaitan antar variabel dan gejala yang muncul pada saat eksperimen dilakukan. Data yang diperoleh dari hasil pengukuran disusun secara sistematis ke dalam bentuk tabel, kemudian dilakukan perhitungan secara teoritis,

serta disajikan dalam bentuk grafik untuk memperjelas hasil penelitian. Penyajian data tersebut bertujuan untuk memberikan gambaran yang lebih rinci mengenai kinerja alat, hubungan antar variabel yang diuji, serta berbagai fenomena yang terjadi selama proses pengujian, sehingga memudahkan dalam proses analisis dan penarikan kesimpulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui pengukuran serta perhitungan secara langsung terhadap parameter yang diuji. Debit aliran air ditentukan menggunakan V-Notch Weir, beban diukur dengan neraca, sedangkan kecepatan putaran turbin dicatat menggunakan tachometer. Setiap parameter pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan untuk meningkatkan ketelitian dan memperoleh hasil yang lebih akurat. Data yang telah diperoleh kemudian diolah dengan menggunakan persamaan atau rumus yang relevan sesuai kebutuhan analisis penelitian. Selanjutnya, seluruh hasil pengukuran dan perhitungan disusun dalam bentuk tabel serta ditampilkan dalam grafik, sehingga memudahkan proses perbandingan dan evaluasi pada setiap variasi yang diuji. Perhitungan data dilakukan berdasarkan rumus yang digunakan dalam penelitian ini

- 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)
 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)

$$A = \frac{1}{4} \pi \cdot d^2 \dots\dots\dots (2)$$
 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)
 Untuk menghitung daya air menggunakan persamaan sebagai berikut :

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

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

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

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

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

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

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

- Dengan:
- Pa = Daya air (watt)
 - Pp = Daya Potensial (watt).
 - Pk = Daya kinetik (watt).
 - A = Luas ujung nozzle (m²)
 - v = Kecepatan aliran (m/s)
 - Q = Kapasitas aliran turbin (m³/s)
 - Ph = Tekanan Hidrostatik (N/m²)
 - ṁ = Laju Aliran Massa (Kg/s)

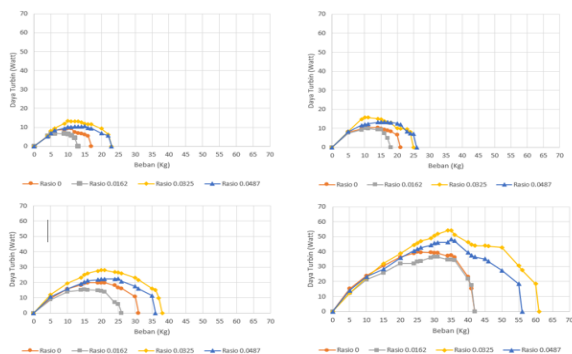
- Efisiensi Turbin (η)

$$\eta = \frac{P_t}{P_a} \cdot 100\% \dots\dots\dots (11)$$
 Dengan:
 η = Efisiensi turbin (%)
 P_t = Daya turbin (Watt)
 P_a = Daya air (Watt)

Pembahasan

Data yang diperoleh dalam penelitian ini dimanfaatkan untuk menghitung besaran daya serta efisiensi turbin yang dihasilkan dari setiap kondisi pengujian. Hasil perhitungan tersebut kemudian disusun dan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik agar lebih mudah dianalisis serta dibandingkan antar variasi yang diuji. Selanjutnya, data dikelompokkan berdasarkan masing-masing variasi kapasitas aliran air yang diperoleh dari pengaturan bukaan katup, sehingga hubungan antara debit dan performa turbin dapat diamati secara lebih sistematis dan jelas.

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

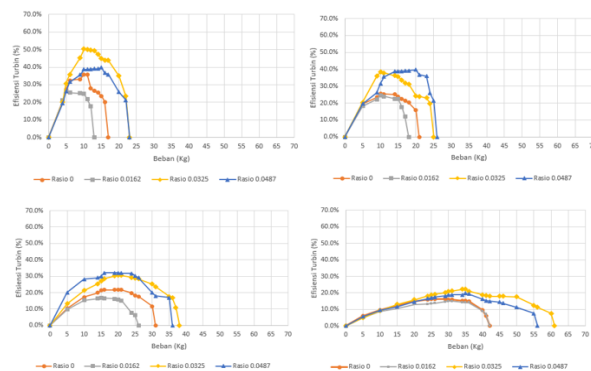


Gambar 5. Grafik Daya Turbin Pada Setiap Kapasitas Aliran Air

Berdasarkan hasil pengujian, variasi rasio antara tinggi sudu dan diameter luar turbin Pelton memberikan pengaruh yang nyata terhadap besarnya daya yang dihasilkan. Pada debit 0,00229 m³/s, daya maksimum tercatat sebesar 13,317 Watt pada rasio 0,0325 dengan beban 10 kg. Kondisi serupa juga terjadi pada debit 0,00260 m³/s dengan daya 15,818 Watt pada rasio yang sama dan beban 10 kg. Selanjutnya, pada debit 0,00328 m³/s diperoleh daya optimum sebesar 27,975 Watt pada rasio 0,0325 dengan beban 20 kg, sedangkan pada debit terbesar 0,00449 m³/s, daya tertinggi kembali dicapai oleh rasio tersebut dengan nilai 53,944 Watt pada beban 35 kg. Secara keseluruhan, peningkatan debit aliran cenderung meningkatkan daya turbin, dan rasio 0,0325 terbukti sebagai konfigurasi paling optimal dibandingkan variasi lainnya, sementara rasio 0,0162 secara konsisten menghasilkan daya terendah karena bidang tangkap sudu yang lebih kecil kurang mampu mengarahkan jet air secara efektif sehingga energi aliran tidak termanfaatkan secara maksimal dan gaya impuls yang dihasilkan menjadi rendah.

Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa modifikasi sudu berbentuk V terpancung dapat meningkatkan kinerja turbin melalui peningkatan efektivitas penyerapan energi aliran, di mana pada rasio 0,0325 bidang tangkap sudu menjadi lebih ideal sehingga jet air mengenai permukaan sudu secara lebih tepat, meningkatkan transfer momentum serta mengurangi kehilangan energi akibat percikan dan turbulensi. Ditinjau dari konsep segitiga kecepatan, performa turbin dipengaruhi oleh hubungan antara kecepatan absolut jet (c_1), kecepatan sudu (u_1), dan kecepatan relatif (v_1), di mana pada rasio 0,0325 tercapai keseimbangan yang lebih baik antara ketiganya sehingga gaya impuls meningkat, sedangkan pada rasio yang terlalu kecil atau besar terjadi ketidakseimbangan yang menyebabkan sebagian energi tidak terserap secara optimal, sehingga rasio 0,0325 memberikan performa terbaik dalam menghasilkan daya turbin.

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



Gambar 6. Grafik Efisiensi Turbin Pada Setiap Kapasitas Aliran Air

Berdasarkan hasil pengujian, variasi rasio antara tinggi sudu dan diameter luar turbin Pelton memberikan pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi yang dihasilkan, di mana pada setiap variasi debit, rasio 0,0325 secara konsisten menunjukkan kinerja paling optimal dibandingkan variasi lainnya. Pada debit 0,00229 m³/s diperoleh efisiensi tertinggi sebesar 50,26% dengan beban 10 kg, kemudian pada debit 0,00260 m³/s sebesar 38,31% juga pada rasio yang sama, selanjutnya pada debit 0,00328 m³/s sebesar 30,64% dengan beban 25 kg, dan pada debit terbesar 0,00449 m³/s diperoleh efisiensi 22,05% dengan beban 35 kg, sedangkan rasio 0,0162 selalu menghasilkan efisiensi paling rendah akibat keterbatasan bidang tangkap yang membuat interaksi aliran dengan sudu kurang efektif. Secara umum, efisiensi tertinggi terjadi pada debit rendah 0,00229 m³/s dengan rasio 0,0325, yang menunjukkan bahwa kondisi aliran yang lebih stabil mampu meningkatkan proses konversi energi, karena geometri sudu pada rasio tersebut memungkinkan jet air dari nosel mengenai permukaan sudu secara lebih tepat sehingga energi kinetik dapat dikonversi menjadi energi mekanik dengan kerugian yang lebih kecil, sementara pada rasio yang tidak sesuai sebagian aliran tidak terserap secara optimal sehingga terjadi kehilangan energi akibat percikan, turbulensi, dan aliran tidak terarah.

Ditinjau dari konsep turbin Pelton, efisiensi merupakan perbandingan antara daya turbin dengan daya air yang tersedia, di mana pada rasio 0,0325 peningkatan daya turbin lebih seimbang terhadap energi masuk sehingga menghasilkan efisiensi lebih tinggi karena bidang tangkap sudu yang ideal memungkinkan distribusi gaya impuls lebih merata, sedangkan dari perspektif segitiga kecepatan, keseimbangan antara kecepatan jet (c_1), kecepatan sudu (u_1), dan kecepatan relatif (v_1) pada rasio tersebut berada pada kondisi paling optimal untuk transfer energi, sehingga aliran lebih efektif mengikuti kontur sudu dan menghasilkan gaya dorong yang stabil, sementara pada rasio yang terlalu kecil atau tidak sesuai terjadi ketidakseimbangan kecepatan yang menyebabkan sebagian energi tidak termanfaatkan secara maksimal dan menurunkan efisiensi turbin.

PENUTUP**Kesimpulan**

1. Nilai daya tertinggi sebesar 53,944 Watt dicapai pada rasio 0,0325 dengan kondisi debit 0,00449 m³/s dan beban 35 kg. Hasil ini menunjukkan bahwa konfigurasi tersebut memberikan interaksi yang paling efektif antara pancaran air dan permukaan sudu turbin. Berdasarkan analisis segitiga kecepatan, hubungan antara kecepatan absolut jet (c_1), kecepatan sudu (u_1), dan kecepatan relatif (v_1) berada dalam keadaan yang lebih seimbang, sehingga aliran air dapat mengenai sudu sekaligus dibelokkan secara optimal. Kondisi ini menyebabkan peningkatan perubahan momentum aliran yang berdampak pada naiknya gaya impuls pada runner. Di samping itu, bentuk sudu segitiga V terpancung posisi sejajar berperan dalam menjaga kestabilan aliran serta meminimalkan kehilangan energi akibat turbulensi, sehingga proses konversi energi menjadi daya mekanik berlangsung lebih efisien.
2. Sementara itu, efisiensi tertinggi sebesar 50,26% diperoleh pada rasio 0,0325 dengan debit 0,00229 m³/s dan beban 10 kg. Rasio ini menunjukkan kemampuan terbaik dalam mengubah energi air menjadi energi turbin dibandingkan variasi lainnya. Jika ditinjau melalui konsep segitiga kecepatan, keseimbangan antara kecepatan jet (c_1), kecepatan sudu (u_1), dan kecepatan relatif (v_1) menghasilkan pembelokan aliran yang lebih efektif, sehingga transfer momentum menjadi lebih optimal. Selain itu, geometri sudu segitiga V terpancung posisi sejajar membantu mengarahkan aliran secara lebih stabil sekaligus mengurangi kehilangan energi akibat percikan maupun tumbukan, yang pada akhirnya meningkatkan efisiensi kerja turbin secara keseluruhan.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian mengenai variasi ketinggian sudu terhadap diameter luar turbin pada sudu tipe Segitiga V Terpancung posisi sejajar, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai penambahan sekat pada sudu tipe Segitiga V Terpancung posisi sejajar untuk mengetahui pengaruhnya terhadap daya dan efisiensi turbin, terutama dalam mengoptimalkan pengendalian arah aliran air.
2. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan sistem pembebanan yang lebih mendekati kondisi nyata, seperti beban listrik atau lampu, agar evaluasi kinerja turbin Pelton dapat dilakukan secara lebih aplikatif dan representatif terhadap kondisi operasional sebenarnya

DAFTAR PUSTAKA

Aditama, H., & Adiwibowo, P. (2023). STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI JARAK NOZZLE TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI PADA TURBIN PELTON. Vol. 11 No.

02 (2023): JTM : *JURNAL TEKNIK MESIN*
<https://doi.org/10.26740/jtm.v11n02>

Assyary, N. S., Rijanto, A., & Dyah, A. I. (2022). Analisis Pengaruh Jumlah Sudu Turbin Penggerak Microhydro Terhadap Daya Output Yang Dihasilkan Generator Permanen. *Majamecha*, vol 4(2), 87–95.

<https://doi.org/10.36815/majamecha.v4i2.1322>

Liona, Y., & Adiwibowo, P. (2023). STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI KELENGKUNGAN SUDU BERPENAMPANG LENGKUNG POSISI SEJAJAR TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI PADA TURBIN PELTON. *Jurnal Teknik Mesin*, Vol 11(03), 19-26.
<https://doi.org/10.26740/jtm.v11n03>

Mochamad Riko., & Adiwibowo, P. (2024). Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Berpenampang Segitiga Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin Pelton. *Jurnal Teknik Mesin*, Vol 13(01), 129-136.

Nuruddin, M., & Adiwibowo, P. H. (2022). STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH SUDU BERPENAMPANG V TERPANCUNG TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI TURBIN CROSSFLOW POROS HORIZONTAL Muhammad Nuruddin Priyo Heru Adiwibowo. *Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya*, vol. 10, 129–140.

Pramesti, Y. S. (2018). Analisa pengaruh sudut sudu terhadap kinerja turbin kinetik poros horisontal dan vertikal. *Jurnal Mesin Nusantara*, 1(1), 51.
<https://doi.org/10.29407/jmn.v1i1.12296>

Sugiyono,. (2019). Metode penelitian kuantitatif kualitatif dan R&D. *Alfabeta, Bandung Publishing*.

Taufiqurrahman, A., & Windarta, J. (2020). Overview Potensi dan Perkembangan Pemanfaatan Energi Air di Indonesia. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, vol 1(3), 124–132.
<https://doi.org/10.14710/jebt.2020.10036>