

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH JUMLAH SUDU MANGKUK TUNGGAL TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI TURBIN PELTON

Tegar Akhmad Adireza Wijaya

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email : tegar.19039@mhs.unesa.ac.id

Priyo Heru Adiwibowo

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email : priyoheruadiwibowo@unesa.ac.id

Abstrak

Kemajuan teknologi dan pertumbuhan penduduk menyebabkan kebutuhan energi terus meningkat. Indonesia memiliki kondisi geografis berupa wilayah pegunungan, perbukitan, dan banyak sumber air seperti danau maupun waduk yang menjadi hulu sungai, sehingga memiliki potensi besar sebagai sumber energi. Salah satu teknologi yang memanfaatkan potensi tersebut adalah turbin pelton yang banyak digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Pemilihan turbin pelton umumnya didasarkan pada tingkat efisiensi yang mampu dicapai. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi jumlah sudu mangkuk tunggal terhadap daya dan efisiensi turbin Pelton untuk memperoleh konfigurasi yang paling optimal. Metode eksperimen digunakan dengan memvariasikan jumlah sudu 8, 10, dan 12 buah. Pengujian dilakukan pada debit aliran 0,00229 m³/s, 0,0026 m³/s, 0,00328 m³/s, dan 0,00449 m³/s menggunakan nosel berdiameter 25,4 mm. Selain itu, diberikan variasi beban sebesar 500 gram, 1000 gram, dan 1500 gram untuk mengetahui performa daya dan efisiensi turbin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah sudu memengaruhi kinerja turbin pelton. Daya maksimum sebesar 49,1267 Watt diperoleh pada penggunaan 10 sudu dengan debit 0,00449 m³/s dan beban 35 kg. Sementara itu, efisiensi tertinggi mencapai 46,29% pada konfigurasi 10 sudu dengan debit 0,00229 m³/s dan beban 10 kg.

Kata Kunci: Turbin Pelton, Jumlah Sudu, Kinerja Turbin Pelton

Abstract

Technological developments and population growth have led to an ever-increasing demand for energi. Indonesia's mountainous and hilly topography, along with the presence of lakes and reservoirs serving as the headwaters of rivers, offer significant potential for hydropower as a primary energi source. Pelton turbines are a type of turbine used in micro-hydro power plants (MHPs). Pelton turbine selection is based on their efficiency. This study aims to determine the effect of the number of bowl blades on optimal power and efficiency. This study uses an experimental method by varying the number of blades of 8, 10, and 12 on the Pelton turbine. The bowl-shaped blades will be tested with variations in water capacity of 0.00229 m³/s, 0.0026 m³/s, 0.00328 m³/s, 0.00449 m³/s using a nozzle with a diameter of 25.4 mm. Variations in loading will be tested at 500 grams, 1000 grams, 1500 grams to obtain power and efficiency on the Pelton turbine. Based on the testing and calculations of this research. The results of the research on the variation of the number of single bowl spoons, namely the number of spoons 8, 10, and 12. The highest power is located at the number of spoons 10 with a flow capacity of 0.00449 m³/s at a load of 35 kg with a power value of 49.1267 Watts. The highest efficiency is located at the variation of the number of spoons 10 with a flow capacity of 0.00229 m³/s at a load of 10 kg with an efficiency value of 46.29%.

Keywords: Pelton Turbine, Number of Blades, Pelton Turbine Performance.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang semakin pesat serta pertumbuhan jumlah penduduk menyebabkan kebutuhan energi terus meningkat dari waktu ke waktu. Energi listrik menjadi salah satu bentuk energi yang paling banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Sebagian besar energi listrik yang dimanfaatkan masyarakat masih berasal dari pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang menggunakan bahan bakar fosil seperti batu bara dan minyak bumi. Sumber energi tersebut termasuk energi tidak terbarukan dan berpotensi menimbulkan dampak lingkungan berupa emisi yang cukup besar. Di sisi lain, Indonesia memiliki kondisi geografis yang mendukung pengembangan energi air karena banyaknya danau, waduk, dan aliran sungai yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi. Potensi energi air di Indonesia diperkirakan mencapai 75.091 MW yang tersebar di berbagai wilayah, meskipun tingkat pemanfaatannya masih relatif rendah, yaitu sekitar 7,2%. Saat ini, energi air banyak dimanfaatkan melalui pembangkit listrik tenaga air (PLTA) yang telah terbukti mampu beroperasi secara efektif dan menyumbang sekitar 66% dari total kapasitas pembangkit energi terbarukan sebesar 7 GW di Indonesia (Institute for Essential Services Reform (IESR) 2019) (Taufiqurrahman & Windarta, 2021).

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) merupakan pembangkit listrik skala kecil yang memanfaatkan energi aliran air untuk menghasilkan listrik. Sumber air yang digunakan dapat berasal dari sungai, saluran irigasi, maupun air terjun alami. Sistem kerjanya memanfaatkan tinggi jatuh air (head) dan debit aliran untuk menggerakkan turbin sehingga menghasilkan energi listrik. Walaupun desain dan bentuk instalasi mikrohidro dapat berbeda-beda sesuai kondisi lokasi, prinsip dasarnya tetap sama, yaitu mengubah energi potensial air menjadi energi listrik. Penggunaan teknologi mikrohidro semakin berkembang, khususnya di wilayah pedesaan dan daerah terpencil yang memiliki sumber daya air melimpah. Potensi energi mikrohidro di Indonesia diperkirakan mencapai 458,75 MW, namun kapasitas yang telah terpasang hingga saat ini masih sekitar 84 MW. Oleh karena itu, teknologi mikrohidro memiliki peluang besar untuk memenuhi kebutuhan energi masyarakat dengan memanfaatkan aliran sungai sebagai sumber energi yang berkelanjutan (Jumadi & Amir, 2017).

Turbin Pelton merupakan salah satu jenis turbin yang digunakan untuk mengubah energi kinetik dari aliran air menjadi energi mekanik berupa putaran poros. Berdasarkan prinsip kerjanya, turbin ini termasuk turbin impuls yang memanfaatkan semburan air berkecepatan tinggi untuk memutar sudu-sudunya. Penggunaan turbin Pelton sangat luas, baik pada sektor industri maupun kebutuhan sehari-hari. Setiap turbin dirancang sesuai dengan karakteristik lokasi pemasangan agar mampu bekerja secara optimal. Dengan demikian, desain turbin dapat disesuaikan dengan kondisi lapangan sehingga penggunaannya menjadi lebih

fleksibel dan efisien. Proses konversi energi pada turbin Pelton terjadi ketika energi kinetik aliran air diubah menjadi energi mekanik melalui putaran poros turbin (Septiadi, 2019).

Pramessti (2018) melakukan penelitian mengenai pengaruh sudut sudu terhadap performa turbin kinetik dengan konfigurasi poros horizontal dan vertikal. Variasi yang digunakan meliputi sudut arah aliran sebesar 5°, 10°, dan 15°, serta debit aliran 50, 70, dan 90 m³/jam. Penelitian tersebut juga membandingkan penggunaan poros vertikal dan horizontal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa daya keluaran tertinggi sebesar 1,53 Watt diperoleh pada debit 90 m³/jam dengan sudut aliran 15°. Sementara itu, efisiensi maksimum mencapai 18% pada debit 50 m³/jam dengan sudut aliran yang sama. Selain itu, turbin berporos horizontal menghasilkan daya dan efisiensi yang sedikit lebih baik dibandingkan turbin dengan poros vertikal.

Menurut penelitian Femanda dan Adiwibowo (2021) mengenai pengaruh variasi diameter ujung nosel terhadap daya dan efisiensi turbin Pelton, pengujian dilakukan menggunakan diameter nosel 8 mm, 10 mm, dan 12 mm. Penelitian tersebut juga menerapkan jarak semprot 5 cm, sudu pipa elbow 0,5 inci, serta variasi debit air sebesar 12 LPM, 16 LPM, dan 20 LPM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya terbesar diperoleh pada debit 20 LPM dengan diameter nosel 8 mm, yaitu sebesar 2,508 Watt saat diberikan beban 5000 gram. Efisiensi tertinggi dicapai pada debit 12 LPM menggunakan nosel 12 mm dengan beban 1000 gram, yaitu sebesar 57,51%. Sebaliknya, daya dan efisiensi terendah ditemukan pada penggunaan nosel 12 mm dengan debit 16 LPM, menghasilkan daya 0,053 Watt dan efisiensi 6,87% pada beban 2500 gram.

Pada turbin Pelton, nosel berfungsi mengarahkan semburan air menuju sudu. Oleh karena itu, bentuk sudu menjadi salah satu faktor penting yang memengaruhi besarnya daya dan efisiensi turbin. Penelitian Yani (2017) tentang perancangan alat praktikum turbin air dengan variasi bentuk sudu menunjukkan bahwa bentuk sudu berpengaruh terhadap torsi dan daya yang dihasilkan. Torsi terbesar diperoleh pada sudu berbentuk sendok sayur dengan nilai 0,555 Nm. Posisi berikutnya ditempati sudu datar dengan torsi 0,435 Nm, kemudian sudu setengah silinder sebesar 0,420 Nm, dan sudu sendok nasi sebesar 0,375 Nm. Torsi paling rendah dihasilkan oleh sudu lengkung dengan nilai 0,360 Nm. Dari sisi daya, nilai tertinggi juga diperoleh pada sudu sendok sayur sebesar 5,652 Watt. Daya terbesar kedua dicapai oleh sudu sendok nasi dengan nilai 5,024 Watt, sedangkan posisi berikutnya ditempati oleh sudu lengkung dan sudu setengah silinder yang masing-masing menghasilkan daya sebesar 4,082 Watt. Sementara itu, daya terendah diperoleh dari sudu datar dengan nilai 3,297 Watt.

Selain bentuk sudu, jumlah sudu juga menjadi faktor yang berpengaruh terhadap kinerja turbin air. Banyaknya sudu dapat memengaruhi kecepatan putaran

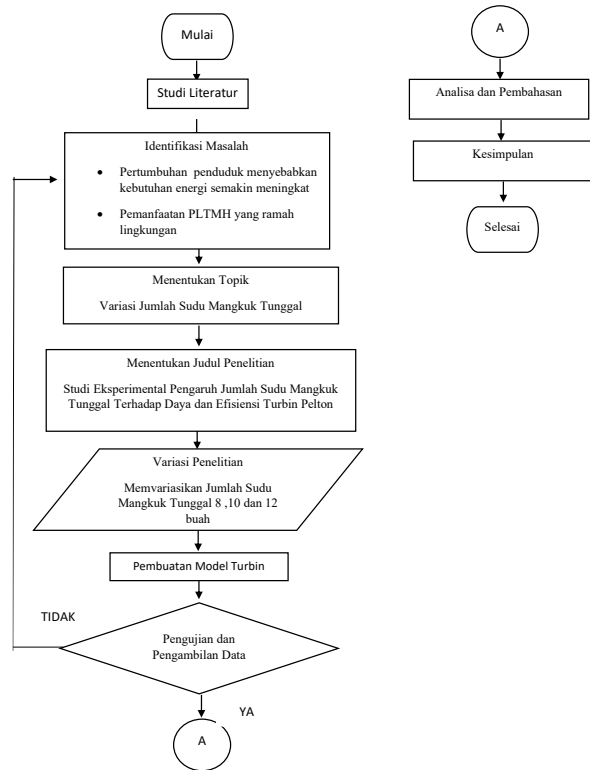
turbin, yang selanjutnya berdampak pada peningkatan performa sistem secara keseluruhan. Penelitian yang dilakukan oleh Ngurah Saputra dkk. (2020) mengenai pengaruh jumlah sudu pada prototipe PLTMH berbasis turbin Pelton menunjukkan bahwa peningkatan jumlah sudu cenderung menghasilkan kinerja yang lebih baik. Hasil terbaik diperoleh pada runner dengan 22 sudu. Pada konfigurasi tersebut, kecepatan putar turbin mencapai 852,2 rpm sebelum dipasang generator dan 497,2 rpm setelah generator dipasang. Selain itu, generator menghasilkan putaran sebesar 2.133,8 rpm, tegangan 15,72 Volt, daya 33,7 Watt, serta torsi 0,6 Nm. Efisiensi yang diperoleh sebesar 4,54%. Nilai efisiensi yang relatif rendah tersebut disebabkan oleh kinerja prototipe yang belum optimal serta penggunaan generator DC berkapasitas kecil sehingga belum mampu memanfaatkan daya hidrolik secara maksimal.

Berbagai penelitian sebelumnya telah membahas pengaruh jumlah sudu terhadap performa turbin. Namun, penelitian mengenai turbin Pelton dengan sudu berbentuk mangkuk tunggal masih relatif terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan merancang prototipe turbin Pelton yang menggunakan sudu mangkuk tunggal dengan variasi jumlah sudu 12, 14, dan 16 buah. Tujuan utama penelitian ini adalah memperoleh rancangan turbin Pelton yang mampu menghasilkan daya dan efisiensi yang lebih baik, sehingga dapat dimanfaatkan pada aplikasi skala kecil serta menjadi media pembelajaran mengenai pemanfaatan energi alternatif.

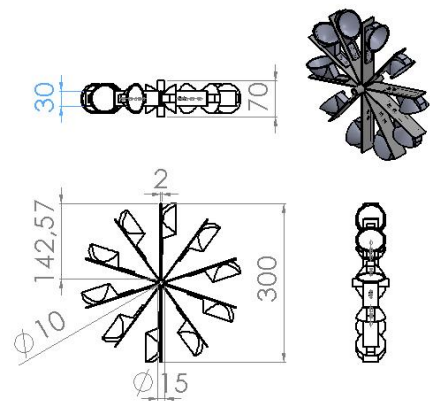
METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan metode eksperimen untuk menganalisis pengaruh variasi jumlah bilah mangkuk tunggal terhadap daya dan efisiensi turbin Pelton. Pelaksanaan penelitian dilakukan pada bulan April hingga Mei 2026 di Laboratorium Mekanika Fluida, Gedung A8 lantai 2, Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya. Fokus penelitian adalah mengukur daya dan efisiensi yang dihasilkan turbin Pelton dengan jumlah bilah mangkuk tunggal yang divariasikan menjadi 8, 10, dan 12 buah. Dalam penelitian ini, jumlah bilah mangkuk tunggal berperan sebagai variabel bebas, sedangkan daya dan efisiensi turbin menjadi variabel terikat yang diamati. Variabel kontrol dalam penelitian ini mencakup kapasitas aliran air pada bukaan katup 90°, 100°, 110°, dan 120°, menggunakan bilah berbentuk mangkuk tunggal dengan diameter ujung nospel 25,4 mm dan jarak semprot 50 mm. Beban yang digunakan dalam penelitian ini sebesar kelipatan 5 Kg, 10 Kg, 15 Kg, dan seterusnya hingga turbin berhenti beroperasi.

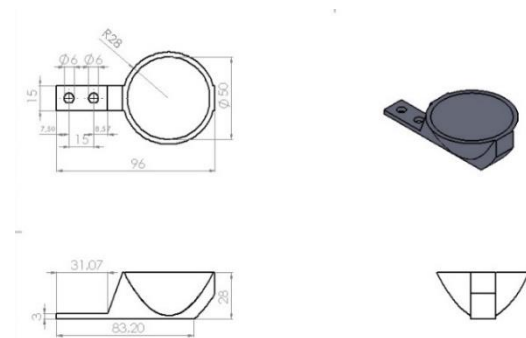
Berikut diagram alir penelitian ini:



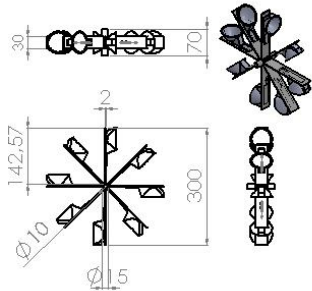
Gambar 1 Alur Penelitian



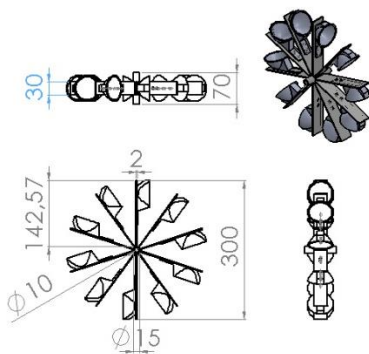
Gambar 2 Desain Runner



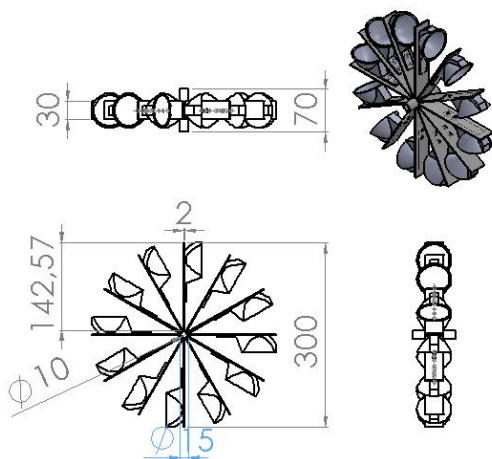
Gambar 3 Desain Sudu



Gambar 4 Variasi Jumlah Sudu 8



Gambar 5 Variasi Jumlah Sudu 10



Gambar 6 Variasi Jumlah Sudu 12

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengumpulan data dalam penelitian ini meliputi proses pengukuran serta analisis perhitungan. Debit aliran ditentukan menggunakan alat ukur debit, sedangkan massa diukur memakai timbangan dan kecepatan putar turbin diperoleh melalui pengukuran dengan tachometer. Data hasil pengukuran kemudian diolah menggunakan persamaan yang telah ditetapkan dan disajikan dalam bentuk tabel maupun grafik untuk mempermudah analisis perbandingan antarvariasi.

Penyusunan data dilakukan berdasarkan kapasitas aliran guna mengetahui perbedaan kinerja pada setiap variasi kedalaman sudu mangkuk tunggal yang digunakan dalam penelitian ini.

Hasil Penelitian

Persamaan yang digunakan dalam proses perhitungan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Luas Penampang Air (A)

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

Dengan:

A = luas penampang pada ujung nosel (m^2)

d = diameter ujung nosel (m)

2. Kecepatan Aliran (v)

$$V = \frac{Q}{A}$$

Dengan:

v = laju aliran fluida (m/s)

Q = debit aliran (m^3/s)

A = luas penampang ujung nosel (m^2)

3. Daya Kinetik (Pk)

$$Pk = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

Dengan:

Pk = energi kinetik aliran

ρ = massa jenis fluida

A = luas penampang ujung nosel (m^2)

v = kecepatan aliran (m/s)

4. Daya Potensial (Pp)

$$Pp = Q \cdot Ph$$

Dengan:

Pp = Daya Potensial

Q = Kapasitas aliran air

Ph = Tekanan Air

5. Daya Air (Pa)

$$Pa = Pk + Pp$$

Dengan:

Pa = daya yang memiliki aliran air

Pk = energi kinetik aliran

Pp = energi potensial aliran

6. Gaya Prony Brake (F)

$$F = m \cdot g$$

$$F = (m \text{ beban} - m \text{ neraca}) \cdot g$$

Dengan:

F = besar gaya (N)

m = massa beban (Kg)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

7. Torsi Turbin

$$T = F \cdot r$$

Dengan:

T = momen punter/torsi (N.m)

F = gaya yang bekerja (N)

r = panjang lengan atau jari jari (m)

8. Kecepatan Sudut (ω)

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times n}{60}$$

Dengan:

ω = kecepatan sudut atau tangensial (rad/s)

n = jumlah putaran turbin (Rpm)

9. Daya Turbin

$$P_t = T \cdot \omega$$

Dengan:

P_t = keluaran daya turbin (Watt)

T = torsi turbin (N.m)

ω = kecepatan sudut/tangensial (rad/s)

10. Efisiensi

$$\eta = \frac{P_t}{P_a} \cdot 100\%$$

Dengan:

η = tingkat efisiensi turbin (%)

P_t = daya keluaran turbin (Watt)

P_a = daya yang tersedia pada aliran air (Watt)

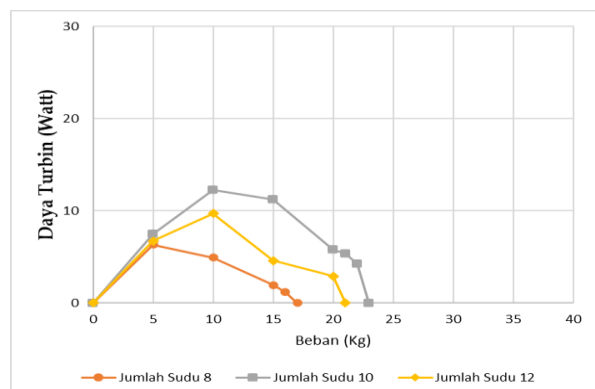
Pembahasan

Data yang telah diperoleh selanjutnya diolah dan disajikan dalam bentuk tabel maupun grafik agar memudahkan analisis terhadap perbedaan performa serta Tingkat efisiensi yang dihasilkan oleh berbagai variasi jumlah sudu pada turbin Pelton mangkuk tunggal. Data hasil penelitian kemudian diklasifikasikan ke dalam dua parameter utama, yaitu daya turbin dan efisiensi turbin, serta ditampilkan berdasarkan kapasitas debit air pada setiap variasi bukaan katup.

Pengaruh Jumlah Sudu terhadap keluaran Daya Turbin Pelton pada debit Air 0,00229 m³/s

Tabel 1 Daya Turbin Pelton Pada Kapasitas Aliran 0,00229 m³/s

Daya Turbin Pada Kapasitas Aliran Air 0.00229 m ³ /s (Watt)				
No	Beban (kg)	Jumlah Sudu 8	Jumlah Sudu 10	Jumlah Sudu 12
1	0	0	0	0
2	5	6,330837333	7,494666667	6,734112
3	10	4,925296444	12,26438889	9,70816
4	15	1,949776889	11,20524533	4,621642667
5	16	1,190882		
6	17	0		
7	20		5,773288889	2,916623111
8	21		5,382813333	0
9	22		4,26888	
10	23		0	



Gambar 7 Grafik Daya Turbin pada Debit Air 0,00229 m³/s

Kinerja turbin Pelton pada debit air sebesar 0,00229 m³/s ditunjukkan pada Gambar 4.9. Turbin dengan 8 sudu menghasilkan daya maksimum sebesar 6,33 Watt pada pembebanan 5 kg, kemudian tidak lagi berputar ketika beban mencapai 17 kg. Sementara itu, turbin dengan 10 sudu menunjukkan performa terbaik dengan daya puncak sebesar 12,26 Watt pada beban 10 kg, dan berhenti beroperasi pada beban 23 kg. Adapun turbin yang menggunakan 12 sudu mampu menghasilkan daya tertinggi sebesar 9,70 Watt pada pembebanan 10 kg, serta berhenti berputar saat beban mencapai 21 kg.

Dengan begitu, pada aliran air sebesar 0,00229 m³/s, puncak energy dicapai saat jumlah sudu adalah 10 dengan output tertinggi 12,26 Watt pada beban 10 kg. Walaupun tekanan air yang mengenai turbin pada aliran ini rendah, turbin dengan 10 sudu mampu menggunakan air yang memercik dengan baik untuk memanfaatkan energi aliran air secara lebih efektif sehingga menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan konfigurasi 8 maupun 12 sudu. Namun, semakin berat beban yang diberikan, maka daya turbin juga akan menurun karena diperlukan tenaga dari air yang lebih kuat agar turbin bisa berfungsi.

Pengaruh Jumlah Sudu terhadap keluaran Daya Turbin Pelton pada debit Air 0,00260 m³/s

Tabel 2 Daya Turbin Pelton Pada Kapasitas Aliran 0,00260 m³/s

Daya Turbin Pada Kapasitas Aliran Air 0.00260 m ³ /s (Watt)				
No	Beban (kg)	Jumlah Sudu 8	Jumlah Sudu 10	Jumlah Sudu 12
1	0		0	0
2	5	6,4321554	6,780173714	6,044328889
3	10	9,538045	14,42568286	12,44419244
4	15	7,110755143	15,16166331	7,297307111
5	20	1,702305943	11,46535186	5,057496889
6	21	0		
7	25		5,874414857	3,787270667
8	26		5,169676914	0
9	27		4,547156114	
10	28		3,5989184	
11	29		0	



Gambar 8 Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas Air 0,00260 m³/s

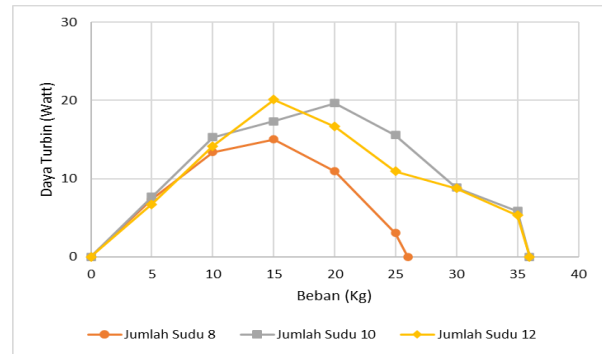
Berdasarkan Gambar 8, performa turbin Pelton pada debit air 0,00260 m³/s menunjukkan karakteristik yang berbeda untuk setiap variasi jumlah sudu. Turbin dengan 8 sudu mencapai keluaran daya maksimum sebesar 9,53 Watt pada pembebanan 10 kg, kemudian tidak mampu mempertahankan putarannya ketika beban meningkat hingga 21 kg. Pada variasi 10 sudu, daya tertinggi yang diperoleh mencapai 15,16 Watt pada beban 15 kg, dan turbin berhenti beroperasi saat pembebanan mencapai 29 kg. Sementara itu, turbin dengan 12 sudu menghasilkan daya puncak sebesar 12,44 Watt pada beban 10 kg, serta tidak lagi berputar ketika diberi beban 26 kg.

Secara umum, hasil pengujian memperlihatkan bahwa pada kapasitas aliran 0,00260 m³/s, konfigurasi 10 sudu memberikan performa paling baik dengan daya keluaran maksimum sebesar 15,16 Watt pada pembebanan 15 kg. Besarnya daya yang dihasilkan berkaitan erat dengan kecepatan putar turbin, di mana peningkatan putaran akan meningkatkan daya yang diperoleh. Sebaliknya, bertambahnya beban menyebabkan daya keluaran menurun karena diperlukan gaya penggerak yang lebih besar untuk menjaga turbin tetap berotasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi jumlah sudu memengaruhi daya keluaran turbin Pelton pada debit 0,00260 m³/s. Dari seluruh konfigurasi yang diuji, turbin dengan 10 sudu memberikan hasil terbaik dengan daya maksimum 15,16 Watt pada pembebanan 15 kg. Kinerja tersebut lebih tinggi dibandingkan turbin dengan 8 sudu maupun 12 sudu. Peningkatan beban menyebabkan daya cenderung menurun karena energi aliran yang tersedia harus digunakan untuk mengatasi tahanan yang semakin besar. Efektivitas konfigurasi 10 sudu menunjukkan bahwa jumlah sudu yang sesuai mampu meningkatkan pemanfaatan energi aliran air menjadi energi mekanik pada poros turbin.

Pengaruh Jumlah Sudu terhadap keluaran Daya Turbin Pelton pada debit Air 0,00328 m³/s

Tabel 3 Daya Turbin Pelton Pada Kapasitas Aliran 0,00328 m³/s

Daya Turbin Pada Kapasitas Aliran Air 0.00328 m ³ /s (Watt)				
No	Beban (kg)	Jumlah Sudu 8	Jumlah Sudu 10	Jumlah Sudu 12
1	0	0	0	0
2	5	7,365970857	7,668118857	6,721868057
3	10	13,37535886	15,30287126	14,14765189
4	15	15,03148617	17,3281878	20,12370769
5	20	10,92994697	19,64886943	16,63835171
6	25	3,041006571	15,5495912	10,95937386
7	26	0		
8	30		8,837794743	8,750987143
9	35		5,8794164	5,314721657
10	36		0	0



Gambar 9 Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas Air 0,00328 m³/s

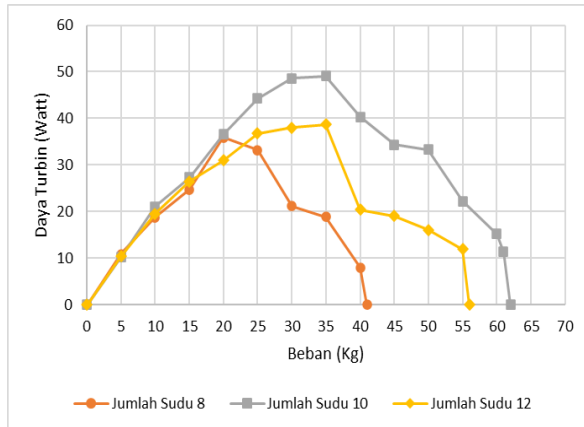
Berdasarkan hasil yang ditampilkan pada Gambar 9, performa turbin Pelton diuji pada debit air sebesar 0,00328 m³/s dengan variasi jumlah sudu yang berbeda. Turbin yang menggunakan 8 sudu mencapai keluaran daya maksimum sebesar 15,03 Watt pada pembebanan 15 kg, kemudian tidak mampu beroperasi lagi ketika beban meningkat hingga 26 kg. Pada konfigurasi 10 sudu, daya tertinggi yang diperoleh mencapai 19,64 Watt pada beban 20 kg, sedangkan putaran turbin berhenti pada saat pembebanan mencapai 36 kg. Sementara itu, turbin dengan 12 sudu menghasilkan daya puncak sebesar 20,12 Watt pada pembebanan 15 kg dan berhenti berputar ketika diberikan beban 36 kg.

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa variasi jumlah sudu memberikan pengaruh terhadap daya keluaran turbin Pelton pada debit air 0,00328 m³/s. Daya maksimum tertinggi diperoleh pada konfigurasi 12 sudu, yaitu sebesar 20,12 Watt pada pembebanan 15 kg. Kinerja tersebut lebih baik dibandingkan turbin dengan 8 sudu maupun 10 sudu. Peningkatan beban menyebabkan penurunan daya karena energi yang diperlukan untuk mengatasi tahanan putaran semakin besar. Oleh karena itu, pada debit ini jumlah 12 sudu merupakan konfigurasi yang paling efektif dalam mengonversi energi aliran air menjadi energi mekanik turbin.

Pengaruh Jumlah Sudu terhadap keluaran Daya Turbin Pelton pada debit Air 0,00449 m³/s

Tabel 4 Daya Turbin Pelton Pada Kapasitas Aliran 0,00449 m³/s

Daya Turbin Pada Kapasitas Aliran Air 0.00449 m ³ /s (Watt)				
No	Beban (kg)	Jumlah Sudu 8	Jumlah Sudu 10	Jumlah Sudu 12
1	0	0	0	0
2	5	10,83683606	10,138744	10,35826377
3	10	18,7490028	21,02395114	19,51629429
4	15	24,71419909	27,33774811	26,44103314
5	20	35,887269	36,5781328	30,93646097
6	25	33,19928229	44,27732289	36,75044623
7	30	21,16968103	48,60328063	38,03399286
8	35	18,89898057	49,12679829	38,7176284
9	40	7,946560914	40,35251629	20,42753429
10	41	0		
11	45		34,32599971	19,06814234
12	50		33,30277311	16,03234286
13	55		22,2419296	11,9425196
14	56			0
15	60		15,19989429	
16	61		11,32784369	
17	62		0	



Gambar 10 Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas Air 0,00449 m³/s

Gambar 10 menunjukkan kekuatan turbin Pelton dengan aliran air 0,00449 m³/s. Turbin dengan 8 sudu menunjukkan kekuatan maksimalnya pada beban 20 kg, menghasilkan energi sebesar 35,88 Watt, dan berhenti berputar saat beban mencapai 41 kg. Turbin dengan 10 sudu memiliki kekuatan paling tinggi pada beban 35 kg, menghasilkan 49,12 Watt, dan berhenti berputar ketika beban mencapai 62 kg. Turbin dengan 12 sudu mendapatkan daya tertingginya pada beban 35 kg dengan output 38,71 Watt, dan berhenti beroperasi saat beban mencapai 56 kg.

Dapat diambil Kesimpulan bahwa nilai daya tertinggi pada kapasitas aliran air 0,00449 m³/s diperoleh pada turbin dengan jumlah sudu 10 dengan pembebanan 35 kg yaitu 49,12 Watt. Pada jumlah sudu 10 peningkatan daya terlihat lebih signifikan sampai di titik tertingginya yaitu pada pembebanan 35 kg, kemudian turun sampai berhenti berputar pada pembebanan 62 kg. Dengan demikian penurunan daya dikarenakan pemberian beban semakin bertambah sehingga membutuhkan gaya dorong yang besar pula agar turbin mampu berputar. Hal ini terjadi karena bentuk sudu turbin yang menyerupai mangkuk yang menyebabkan turbin mampu menyalurkan energi kinetik dengan baik, sehingga daya turbin juga mengalami peningkatan.

Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Mangkuk Tunggal Terhadap Daya Turbin

Berdasarkan hasil analisis yang telah dijelaskan sebelumnya, dapat diketahui bahwa perubahan jumlah sudu pada turbin Pelton poros horizontal memberikan pengaruh terhadap daya yang dihasilkan. Pada debit air 0,00229 m³/s, daya maksimum diperoleh pada konfigurasi 10 sudu dengan pembebanan 10 kg, yaitu sebesar 12,26 Watt. Selanjutnya, pada debit 0,00260 m³/s, keluaran daya tertinggi juga dihasilkan oleh variasi 10 sudu dengan beban 15 kg, yaitu 15,16 Watt. Pada debit 0,00328 m³/s, performa terbaik dicapai oleh turbin dengan 12 sudu pada pembebanan 15 kg dengan daya sebesar 20,12 Watt. Adapun pada debit 0,00449 m³/s, daya maksimum tercatat pada variasi 10 sudu

dengan beban 35 kg, yaitu 49,12 Watt. Dari seluruh kondisi pengujian, nilai daya terbesar diperoleh pada debit 0,00449 m³/s dengan konfigurasi 10 sudu dan pembebanan 35 kg.

Perbedaan jumlah sudu, yaitu 8, 10, dan 12, memengaruhi jarak antar sudu sehingga berdampak pada proses tumbukan aliran air terhadap sudu turbin. Kondisi tersebut menyebabkan gaya dorong yang diterima setiap variasi berbeda, sehingga daya keluaran yang dihasilkan juga tidak sama. Berdasarkan hasil pengujian, konfigurasi 10 sudu menunjukkan performa rata-rata yang lebih baik dibandingkan variasi 8 sudu maupun 12 sudu. Selain jumlah sudu, debit aliran air merupakan faktor penting yang menentukan besarnya daya turbin. Semakin besar kapasitas aliran yang digunakan, semakin besar pula torsi dan kecepatan putar yang dihasilkan sehingga daya keluaran cenderung meningkat. Nilai daya tertinggi pada penelitian ini diperoleh pada konfigurasi 10 sudu dengan pembebanan 35 kg dan debit 0,00449 m³/s. Sementara itu, variasi 12 sudu menunjukkan rata-rata daya yang lebih rendah. Kondisi tersebut diduga disebabkan oleh jarak antar sudu yang kurang optimal sehingga tidak seluruh energi dari semburan air dapat dimanfaatkan secara efektif. Akibatnya, gaya dorong yang diterima sudu berkurang dan daya yang dihasilkan menjadi lebih kecil.

Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi Turbin Pelton Pada Kapasitas Aliran 0,00229 m³/s

Tabel 5 Hasil pengukuran Efisiensi Turbin Pelton untuk Kapasitas Aliran 0,00449 m³/s

Efisiensi Turbin Pada Kapasitas Aliran Air 0.00229 m ³ /s (%)				
No	Beban (kg)	Jumlah Sudu 8	Jumlah Sudu 10	Jumlah Sudu 12
1	0	0,00%	0,00%	0,00%
2	5	23,89%	28,29%	25,41%
3	10	18,59%	46,29%	36,64%
4	15	7,36%	42,29%	17,44%
5	16	4,49%		
6	17	0,00%		
7	20		21,79%	11,01%
8	21		20,32%	0,00%
9	22		16,11%	
10	23		0,00%	



Gambar 11 Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas Air 0,00229 m³/s

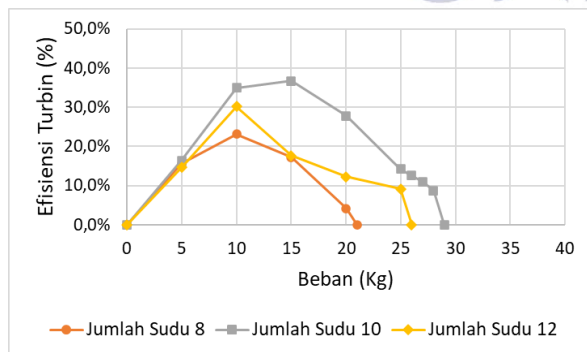
Berdasarkan grafik pada Gambar 11, variasi turbin dengan 8 sudu pada debit air 0,00229 m³/s menunjukkan peningkatan efisiensi hingga pembebanan 5 kg, dengan nilai efisiensi maksimum sebesar 23,89%. Turbin ini masih mampu beroperasi hingga beban mencapai 17 kg. Pada konfigurasi 10 sudu, turbin dapat bekerja sampai pembebanan 23 kg dan menghasilkan efisiensi tertinggi sebesar 46,29% pada beban 10 kg. Sementara itu, turbin dengan 12 sudu mampu beroperasi hingga beban 21 kg dan mencapai efisiensi maksimum sebesar 36,64% pada pembebanan 10 kg.

Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa debit air 0,00229 m³/s dengan pembebanan 10 kg menghasilkan efisiensi tertinggi, yaitu 46,29%, pada konfigurasi 10 sudu. Nilai efisiensi diperoleh dari perbandingan antara daya keluaran turbin dan daya air yang tersedia, kemudian dinyatakan dalam bentuk persentase. Hasil ini menunjukkan bahwa variasi jumlah sudu dan kapasitas aliran air berpengaruh terhadap efisiensi turbin karena keduanya memengaruhi torsi dan kecepatan putar yang dihasilkan pada setiap tingkat pembebanan.

Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi Turbin Pelton Pada Kapasitas Aliran 0,00260 m³/s

Tabel 6 Hasil pengukuran Efisiensi Turbin Pelton untuk Kapasitas Aliran 0,00260 m³/s

Efisiensi Turbin Pada Kapasitas Aliran Air 0.00260 m ³ /s (%)				
No	Beban (kg)	Jumlah Sudu 8	Jumlah Sudu 10	Jumlah Sudu 12
1	0	0,00%	0,00%	0,00%
2	5	15,58%	16,42%	14,64%
3	10	23,10%	34,94%	30,14%
4	15	17,22%	36,73%	17,68%
5	20	4,12%	27,77%	12,25%
6	21	0,00%		
7	25		14,23%	9,17%
8	26		12,52%	0,00%
9	27		11,01%	
10	28		8,72%	
11	29		0,00%	



Gambar 12 Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas Air 0,00260 m³/s

Berdasarkan data pada Gambar 12, turbin dengan 8 sudu pada debit air 0,00260 m³/s mengalami peningkatan efisiensi hingga mencapai nilai maksimum

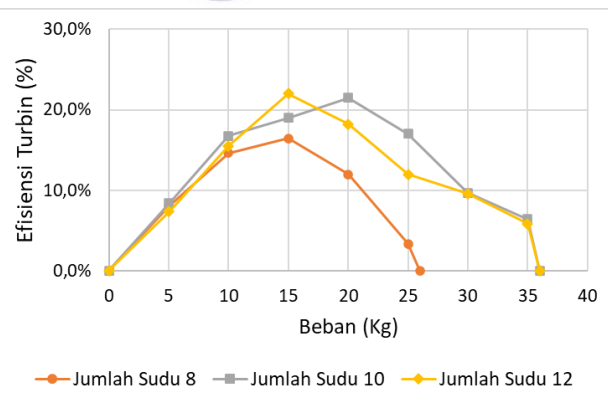
pada pembebanan 10 kg, yaitu sebesar 23,10%, dan masih mampu beroperasi sampai beban 21 kg. Pada variasi 10 sudu, turbin dapat bekerja hingga pembebanan 29 kg dengan efisiensi tertinggi sebesar 36,73% yang diperoleh pada beban 15 kg. Sementara itu, turbin dengan 12 sudu mampu bertahan hingga pembebanan 26 kg dan menghasilkan efisiensi maksimum sebesar 30,14% pada beban 10 kg.

Berdasarkan hasil pengujian, konfigurasi jumlah sudu memberikan pengaruh terhadap tingkat efisiensi turbin Pelton pada debit air 0,00260 m³/s. Efisiensi tertinggi diperoleh pada variasi 10 sudu, yaitu sebesar 36,73% pada pembebanan 15 kg. Nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan variasi 8 sudu dan 12 sudu yang masing-masing menghasilkan efisiensi maksimum 23,10% dan 30,14%. Hasil ini menunjukkan bahwa jumlah sudu yang sesuai dapat meningkatkan efektivitas konversi energi aliran air menjadi energi mekanik pada turbin. Selain itu, perubahan beban juga memengaruhi nilai efisiensi karena berhubungan langsung dengan torsi dan kecepatan putar yang dihasilkan selama proses pengujian.

Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi Turbin Pelton Pada Kapasitas Aliran 0,00328 m³/s

Tabel 7 Hasil pengukuran Efisiensi Turbin Pelton untuk Kapasitas Aliran 0,00328 m³/s

Efisiensi Turbin Pada Kapasitas Aliran Air 0.00328 m ³ /s (%)				
No	Beban (kg)	Jumlah Sudu 8	Jumlah Sudu 10	Jumlah Sudu 12
1	0	0,00%	0,00%	0,00%
2	5	8,07%	8,40%	7,36%
3	10	14,65%	16,76%	15,49%
4	15	16,46%	18,98%	22,04%
5	20	11,97%	21,52%	18,22%
6	25	3,33%	17,03%	12,00%
7	26	0,00%		
8	30		9,68%	9,58%
9	35		6,44%	5,82%
10	36		0,00%	0,00%



Gambar 13 Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas Air 0,00328 m³/s

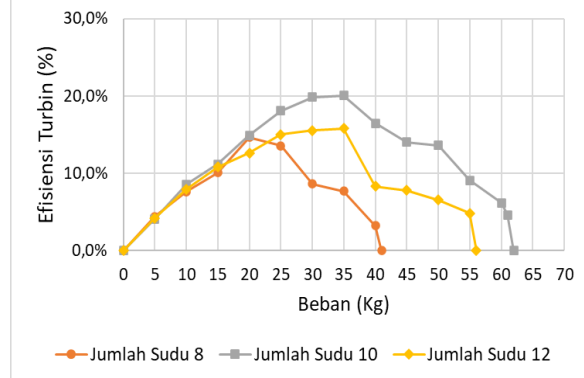
Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi jumlah sudu memengaruhi efisiensi turbin Pelton pada debit air 0,00328 m³/s. Efisiensi tertinggi diperoleh pada konfigurasi 12 sudu, yaitu sebesar 22,04% pada pembebanan 15 kg. Nilai tersebut sedikit lebih tinggi

dibandingkan konfigurasi 10 sudu yang menghasilkan efisiensi maksimum 21,52%, serta lebih tinggi dibandingkan konfigurasi 8 sudu dengan efisiensi maksimum 16,46%. Temuan ini menunjukkan bahwa jumlah sudu yang sesuai dapat meningkatkan efektivitas pemanfaatan energi aliran air menjadi energi mekanik pada turbin. Selain itu, perubahan beban turut memengaruhi efisiensi karena berdampak langsung terhadap torsi dan kecepatan putar yang dihasilkan oleh turbin.

Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi Turbin Pelton Pada Kapasitas Aliran 0,00449 m³/s

Tabel 8 Hasil pengukuran Efisiensi Turbin Pelton untuk Kapasitas Aliran 0,00449 m³/s

Efisiensi Turbin Pada Kapasitas Aliran Air 0.00449 m ³ /s (%)				
No	Beban (kg)	Jumlah Sudu 8	Jumlah Sudu 10	Jumlah Sudu 12
1	0	0,00%	0,00%	0,00%
2	5	4,43%	4,14%	4,23%
3	10	7,66%	8,59%	7,98%
4	15	10,10%	11,17%	10,81%
5	20	14,67%	14,95%	12,65%
6	25	13,57%	18,10%	15,02%
7	30	8,65%	19,87%	15,55%
8	35	7,72%	20,08%	15,83%
9	40	3,25%	16,49%	8,35%
10	41	0,00%		
11	45		14,03%	7,79%



Gambar 14 Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas Air 0,00449 m³/s

Berdasarkan Gambar 14, turbin dengan 8 sudu pada debit air 0,00449 m³/s mengalami peningkatan efisiensi hingga mencapai nilai maksimum pada pembebanan 20 kg, yaitu sebesar 14,67%, serta masih mampu beroperasi sampai beban 41 kg. Pada variasi 10 sudu, turbin dapat bekerja hingga pembebanan 62 kg dan menghasilkan efisiensi tertinggi sebesar 20,08% pada beban 35 kg. Sementara itu, turbin dengan 12 sudu mampu bertahan hingga pembebanan 56 kg dan mencapai efisiensi maksimum sebesar 15,83% pada pembebanan 35 kg.

Dari hasil pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa kombinasi debit air 0,00449 m³/s dan pembebanan 35 kg menghasilkan efisiensi terbesar, yaitu 20,08%, pada turbin dengan 10 sudu. Nilai efisiensi diperoleh dari perbandingan antara daya keluaran turbin dengan daya yang tersedia pada aliran air, kemudian dinyatakan

dalam bentuk persen. Hasil tersebut juga menunjukkan bahwa perubahan kapasitas aliran memberikan pengaruh terhadap efisiensi turbin. Perbedaan nilai efisiensi pada setiap kondisi pembebanan berkaitan dengan perubahan torsi dan kecepatan putar yang dihasilkan selama proses pengujian.

Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Mangkuk Tunggal Terhadap Efisiensi Turbin

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi jumlah sudu berpengaruh terhadap efisiensi turbin Pelton pada berbagai kapasitas aliran yang diuji. Konfigurasi 10 sudu memberikan performa terbaik pada debit 0,00229 m³/s, 0,00260 m³/s, dan 0,00449 m³/s, sedangkan pada debit 0,00328 m³/s efisiensi maksimum diperoleh pada konfigurasi 12 sudu. Dari seluruh kondisi pengujian, efisiensi tertinggi tercatat sebesar 46,29% pada turbin dengan 10 sudu pada debit 0,00229 m³/s dan pembebanan 10 kg. Hasil ini mengindikasikan bahwa jumlah sudu yang tepat dapat meningkatkan kemampuan turbin dalam memanfaatkan energi aliran air secara lebih efektif.

Perbedaan jumlah sudu, yaitu 8, 10, dan 12 buah, menyebabkan variasi jarak antar sudu yang berdampak pada besarnya gaya tumbukan air yang diterima turbin. Kondisi tersebut mengakibatkan nilai efisiensi yang dihasilkan oleh masing-masing variasi menjadi berbeda. Berdasarkan hasil pengujian, konfigurasi 10 sudu menunjukkan performa rata-rata yang paling baik. Pada debit air 0,00229 m³/s, variasi ini menghasilkan efisiensi maksimum sebesar 46,29%. Nilai efisiensi diperoleh dari perbandingan antara energi yang dihasilkan turbin dengan energi yang tersedia pada aliran air, kemudian dikonversi ke dalam bentuk persentase. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas aliran air berpengaruh terhadap besarnya energi yang dapat dihasilkan oleh turbin karena adanya perbedaan kecepatan putar dan torsi pada setiap kondisi pembebanan. Selain itu, karakteristik efisiensi pada setiap debit aliran menunjukkan pola yang berbeda. Pada debit 0,00260 m³/s, nilai efisiensi cenderung lebih rendah, sedangkan pada debit 0,00449 m³/s pola grafik efisiensi terlihat lebih stabil. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa hubungan antara daya air dan daya turbin tidak selalu berbanding lurus, sehingga efisiensi dipengaruhi oleh berbagai faktor yang saling berkaitan.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan rangkaian pengujian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- Daya maksimum yang diperoleh selama penelitian terjadi pada debit air 0,00449 m³/s dengan pembebanan 35 kg pada turbin yang menggunakan 10 sudu, yaitu sebesar 49,1267 Watt. Besarnya daya yang dihasilkan

dipengaruhi oleh nilai torsi dan kecepatan putar turbin. Selain itu, laju aliran air menjadi faktor utama yang menentukan besarnya energi yang dapat dikonversi menjadi daya mekanik.

- Efisiensi tertinggi pada penelitian ini diperoleh pada debit air 0,00229 m³/s dengan pembebanan 10 kg pada turbin yang menggunakan 10 sudu, yaitu sebesar 46,29%. Nilai efisiensi dipengaruhi oleh kemampuan turbin dalam mengubah energi aliran air menjadi energi mekanik. Semakin besar energi air yang dapat dimanfaatkan secara efektif oleh turbin, semakin tinggi pula efisiensi yang dihasilkan.

Saran

Dalam penelitian lebih lanjut, diharapkan peneliti mendesain ulang bentuk sudu mangkok tunggal untuk mendapatkan luas penampang dan daya tampung air yang lebih besar mempengaruhi volume yang lebih besar. Hal ini diharapkan mampu memperbesar daya dan efisiensi dari bentuk sudu mangkok tunggal.

Daftar Pustaka

- Aditama, H. D., & Adiwibowo, P. H. (2023). STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI JARAK NOZZLE TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI PADA TURBIN PELTON. *Jurnal Teknik Mesin Unesa*, 11(02), 81–88.
- Anam, A., Soenoko, R., & Widhiyanuriyawan, D. (2013). Pengaruh Variasi Sudut Input Sudu Mangkok Terhadap Kinerja Turbin Kinetik. *Rekayasa Mesin*, 4(3), 199–203. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm>
- Enny. (2017). *Tachometer Laser, Pemakaian Dan Perawatannya*.
- Fernanda, A. D., & Adiwibowo, P. H. (2021). *Pengaruh Variasi Diameter Ujung Nossel PENGARUH VARIASI DIAMETER UJUNG NOSSSEL TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI TURBIN PELTON*. 1–10.
- Gusti Ngurah Saputra, I., Jasa, L., & Wayan Arta Wijaya, I. (2020). *PENGARUH JUMLAH SUDU PADA PROTOTYPE PLTMH DENGAN MENGGUNAKAN TURBIN PELTON TERHADAP EFISIENSI YANG DIHASILKAN* (Vol. 7, Issue 4).
- Jumadi, J., & Amir, F. (2017). Perencanaan dan perancangan pembangkit listrik tenaga mikro–hidro jenis crossflow. *Jurnal POLIMESIN*, 15(1), 30. <https://doi.org/10.30811/jpl.v15i1.370>
- Mafruddin, & Irawan, D. (2020). *Turbin Impuls*. Lampung: CV. LADUNY ALIFATAMA.
- Muis, A. (2010). Turbin Air Pada PLTA Larona. *Jurnal Ilmiah Matematika Dan Terapan*, 7, 61–69.
- Pramesti, Y. S. (2018a). 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>
- Pramesti, Y. S. (2018b). 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>
- Riskawati, Nurlina, & Karim, R. (2019). *ALAT UKUR DAN PENGUKURAN*. Makassar: Lpp Unismuh Makassar.
- Rohermanto, A. (2007). Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). *Jurnal Vokasi*, 10(4), 28–36. <https://doi.org/10.17529/jre.v10i4.1113>
- Septiadi, R. (2019). Optimasi Desain Turbin Pelton Menggunakan 3 Nozzle Dan Variasi Kemiringan Sudu Hingga 150 Menggunakan Metode Taguchi. *Teknobiz : Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin*, 9(1), 13–18. <https://doi.org/10.35814/teknobiz.v9i1.885>
- Sugiyono. (2013). *METODE PENELITIAN KUANTITATIF KUALITATIF DAN R&D* (Issue January), Bandung: Alfabeta.
- Taufiqurrahman, A., & Windarta, J. (2021). Overview Potensi Dan Perkembangan Pemanfaatan Energi Air Di Indonesia. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 1(3), 70–78. <https://doi.org/10.14710/jebt.2020.10036>