

## Kaji eksperimental pengaruh variasi impeller terhadap kinerja *pump as turbine* (PAT)

Asral<sup>a,1</sup>, Ridwan Abdurrahman<sup>a</sup>, Warman Fatra<sup>a</sup>, Efi Afrizal<sup>a</sup>, Leli Deswita<sup>a</sup>,  
Tohap Parondian S<sup>a</sup>, Naufal Fadillah<sup>a</sup>, Muhammad Luthfi<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Jurusan Teknik Mesin, Universitas Riau, Pekanbaru, 28293

<sup>b</sup>Jurusan Matematika, Universitas Riau, Pekanbaru, 28293

<sup>1</sup>asral@lecturer.unri.ac.id

**Abstract.** The growing demand for electricity has driven the use of renewable energy sources, including hydropower. Centrifugal pumps operated in reverse as Pumps as Turbines (PAT) are a simple and economical solution for pico-hydro power plants. This study aims to analyse the effect of variations in several open, semi-closed, and closed impeller shapes, each with 10 blades, on the performance of the PAT through experimental testing with valve openings of 50%, 66.6%, 83.3%, and 100% and electrical loads of 30 to 300 watts at 30-watt intervals, using a direct current (DC) generator. The method used in this study was an experimental one, observing impeller configurations ranging from open to fully closed, each with 10 blades, across several parameters, including water discharge, rotational speed, and hydraulic efficiency. The experimental results show that increasing the electrical load decreases the rotational speed for all impeller types. The open impeller produced the highest flow rate due to lower flow resistance, while the semi-closed impeller demonstrated relatively stable rotational speed across operating conditions. The closed impeller achieved the highest efficiency, reaching approximately 58% at full valve opening, indicating more effective energy conversion due to reduced leakage losses. These results indicate that the type of impeller has a significant effect on the efficiency produced.

**Keywords:** Pump as Turbine (PAT), Impeller, Picohydro, Efficiency, Renewable Energy

**Received:** 30 September 2025; **Presented:** 9 October 2025; **Publication:** 9 March 2026

DOI: <https://doi.org/10.71452/ag1jc221>

### PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus meningkat. Hal ini berkaitan dengan fenomena pemanasan global yang terjadi. Suhu rata-rata global meningkat hampir 2 °C yang lebih tinggi dibanding pra Industri [1]. Untuk mengatasi hal tersebut, semua negara di dunia bekerja sama untuk mencapai *net-zero emission*, yaitu dengan melakukan pengalihan dari energi fosil menjadi energi terbarukan. Selain itu, kelangkaan bahan bakar fosil menjadi faktor pendorong yang memaksa untuk beralih pada energi terbarukan [2].

Salah satu alternatif energi terbarukan yang cukup menjanjikan adalah energi air, dimana energi air salah satu energi terbarukan yang paling matang [3]. Pemanfaatan energi air semakin relevan seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan peningkatan jumlah penduduk yang mendorong naiknya permintaan terhadap kebutuhan energi listrik. Berdasarkan data dari kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), Konsumsi energi listrik di Indonesia mencapai 430 Twh pada tahun 2025 [4]. Di sisi lain, potensi energi air skala kecil, seperti sungai, saluran irigasi, dan air terjun, banyak dijumpai di wilayah pedalaman, namun ini belum dimanfaatkan secara optimal. Kondisi ini mendorong perlunya pengembangan teknologi pembangkit listrik yang ekonomis.

Salah satu teknologi yang dapat dimanfaatkan adalah pompa sentrifugal yang dioperasikan terbalik sebagai turbin (PAT). Dimana, PAT ini digunakan

untuk menghasilkan energi listrik yang relatif sederhana, murah (dibandingkan dengan turbin konvensional) dan banyak tersedia [5]. Namun demikian, tantangan utama PAT adalah kesulitan dalam memprediksi kinerjanya saat berada di titik efisiensi terbaik [6]. Selain itu efisiensi PAT dibandingkan dengan operasi *mode* pompa juga secara signifikan lebih rendah pada kondisi *off-design* [7]. Salah satu aspek yang sangat menentukan adalah jenis *impeller* yang digunakan.

Dari penelitian yang telah dilakukan oleh Zariatina et al. menganalisis *impeller* jenis *open impeller*, *semi-open impeller* dan *closed impeller*. Hasil menunjukkan bahwa *open impeller* memiliki kecepatan yang lebih tinggi, namun tekanannya lebih rendah dibandingkan dengan dua jenis *impeller* lainnya. *Semi-open impeller* dengan ketebalan sudu 2 mm mampu menghasilkan daya listrik yang lebih besar sekitar 36% lebih tinggi dibandingkan dengan *closed impeller* yang merupakan *impeller* asli dari pompa [8].

Penelitian dari Olaore et al. membahas pemanfaatan *impeller* terbuka pompa sentrifugal yang dioperasikan dalam mode terbalik untuk menghasilkan listrik. Pengujian ini dilakukan menggunakan pompa sentrifugal dengan daya 3,8 hp yang dilengkapi *impeller* terbuka. Hasil menunjukkan bahwa *impeller* terbuka mencapai efisiensi 77% pada output daya 3447 watt pada *head* 13 m dan laju aliran 14,58 m<sup>3</sup>/s [9].

Penelitian dari Zariatina et al. membuat lima buah *impeller* dengan tingkat kekasaran permukaan yang

berbeda. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa *impeller* dengan tingkat kekasaran permukaan yang lebih halus memiliki performa yang lebih tinggi sebesar 10,9% [10].

Penelitian Akbar & Martianis menganalisis pengaruh bentuk *impeller* sudu pompa terhadap kecepatan dan kinerja pompa. Pengujian dilakukan menggunakan dua variasi jenis *impeller*, yaitu *impeller* dengan 46 sudu bertipe lurus dan *impeller* bertipe zigzag dengan 41 sudu. Hasil menunjukkan *impeller* dengan tipe zig-zag 41 sudu lebih efisien dan stabil yang menghasilkan kapasitas aliran sebesar 78,6 liter dalam waktu 3 menit, dibandingkan tipe lurus yang hanya menghasilkan 61,8 liter dalam waktu yang sama [11].

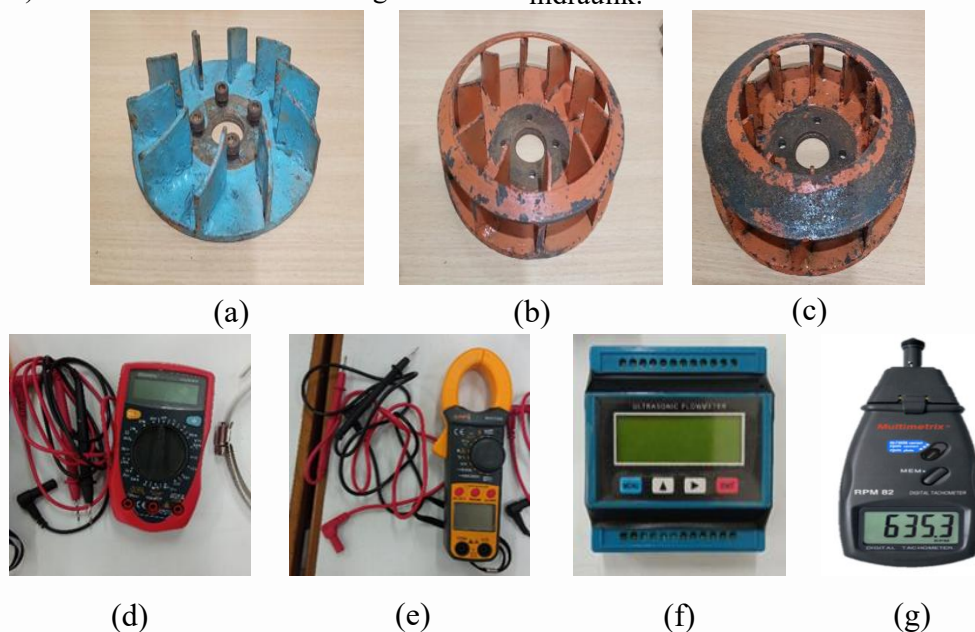
Penelitian Adu et al. bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan *splitter blade*. Dilakukan dengan 2 skema, yaitu skema 1 menggunakan 4 bilah utama dan 4 *splitter blade*, sedangkan skema 2 menggunakan 6 bilah utama tanpa *splitter*. Hasil menunjukkan bahwa skema 1 menghasilkan efisiensi dan *head* yang lebih tinggi daripada skema 2 dengan efisiensi maksimum 57,8% [12].

Berdasarkan penelitian di atas, dapat dilihat bahwa masih terbatasnya studi eksperimental yang membandingkan secara langsung kinerja dari berbagai jenis *impeller* pada kondisi bukaan katup dan variasi beban listrik yang sama dalam satu sistem PAT. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jenis *impeller* terhadap kinerja *Pump-as-Turbine* (PAT). Fokus utama adalah mengevaluasi

bagaimana variasi jenis *impeller* memenuhi parameter, seperti debit aliran, kecepatan putar (rpm), dan efisiensi. Melalui analisis tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam memahami hubungan antara desain *impeller* dan efisiensi sistem pompa sebagai turbin (PAT), sehingga dapat menjadi dasar dalam pengembangan teknologi energi terbarukan berbasis energi air yang lebih optimal dan efisien.

## METODOLOGI

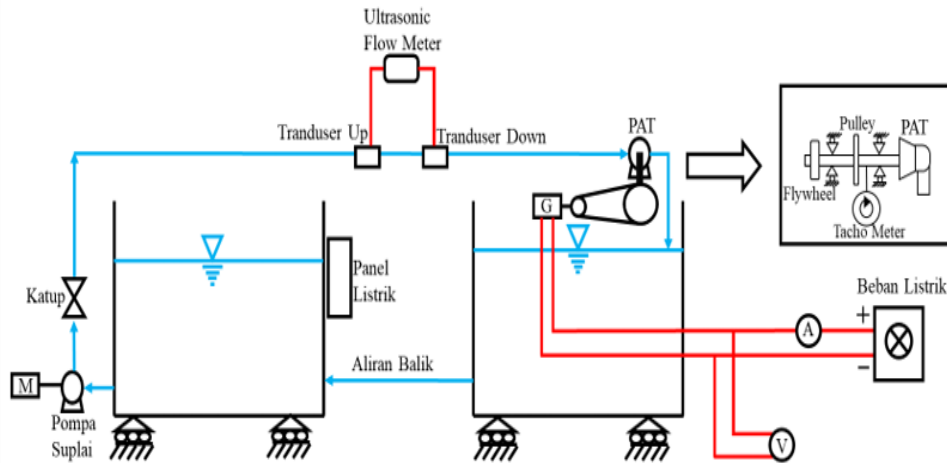
Penelitian ini merupakan eksperimen laboratorium untuk menganalisis pengaruh variasi jenis *impeller* terhadap kinerja *pump as turbine*. Variabel bebas pada penelitian ini yaitu jenis *impeller* (terbuka, setengah tertutup, dan tertutup penuh) dan dua kondisi operasi, yaitu tanpa beban listrik dan beban listrik dengan memberikan variasi beban sebesar 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, dan 300 watt. Variabel terikat meliputi debit (Q), kecepatan putar (n), daya listrik (P) dan efisiensi. Variabel kontrol yang digunakan yaitu jenis pompa penggerak, yakni pompa sentrifugal tipe Drakos Dh/7ar yang digunakan untuk mengalirkan air ke turbin. Debit aliran diukur menggunakan *ultrasonic flowmeter*. Kecepatan putar diukur menggunakan *tachometer* digital. Daya listrik didapatkan dari hasil pengukuran tegangan dan arus menggunakan multimeter dan *clamp amperemeter*. Efisiensi hidraulik *pompa as turbin* dihitung berdasarkan perbandingan antara daya keluaran listrik dan daya hidraulik.



Gambar 1. Alat dan Bahan (a) *Impeller* Terbuka, (b) *Impeller* Tertutup Setengah, (c) *Impeller* Tertutup Penuh, (d) Multimeter, (e) *Clamp Amperemeter*, (f) *Ultrasonic Flowmeter*, (g) *Tachometer*

Pengujian dilakukan dengan mengisi *reservoir* hingga penuh. Pompa penggerak yang digunakan sebagai sumber aliran air untuk mensuplai debit ke sistem PAT dihidupkan. Selanjutnya, bukaan *ball valve* diatur secara bertahap dengan empat variasi. Pada setiap bukaan katup, *impeller* dipasang sesuai dengan variasi *impeller* yang diuji. Kemudian beban listrik diberikan secara bertahap dari 30 watt hingga 300 watt dengan interval 30 watt. Pada setiap

kombinasi bukaan katup, jenis *impeller*, dan beban listrik, dilakukan pencatatan parameter debit ( $Q$ ), kecepatan putar poros ( $n$ ), tegangan ( $v$ ), dan arus listrik ( $I$ ) menggunakan alat ukur yang telah dikalibrasi. Data yang diperoleh selanjutnya diolah untuk menghitung daya keluaran dan efisiensi sistem yang kemudian disajikan dalam bentuk grafik untuk menganalisis kecenderungan (*trend*) kinerja *pump as turbine* terhadap variasi *impeller* pada berbagai kondisi.



Gambar 2. Skema Alat Uji

Tabel 1. Spesifikasi Pompa

No	Komponen	Dimensi	Satuan
1	Q max	2200	L/min
2	H max	18.8	m
3	Size	4 x 4	Inch
4	Kapasitas	4	KW
5	Tegangan	380	Volt
6	Frekuensi	50	Hz

Tabel 2. Spesifikasi Turbin

No	Komponen	Dimensi	Satuan
1	Diameter Sudu	126	mm
2	Volume <i>Reservoir</i>	1.2 x 1.2 x 1.2	mm
3	Diameter Saluran Air	4	inch
4	Diameter <i>Casing</i> dalam	133	mm
5	Diameter <i>Casing</i> luar	233	mm

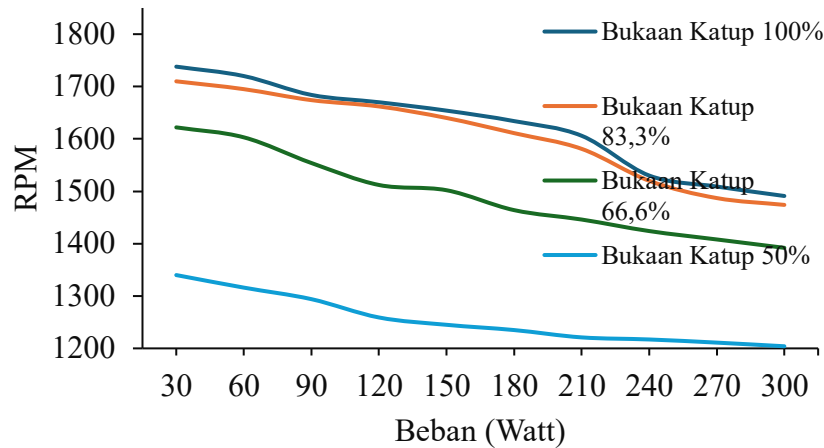
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Seperti yang ditampilkan pada Gambar 3, dapat diamati bahwa peningkatan beban listrik yang diberikan pada generator menyebabkan penurunan kecepatan turbin untuk seluruh variasi bukaan katup. Ketika beban listrik meningkat dari 30 watt hingga 300 watt, arus yang mengalir pada kumparan generator bertambah, sehingga gaya Lorentz yang menahan putaran rotor juga meningkat, sehingga kecepatan

sudut poros menurun. Pada beban tinggi 300 watt, selisih kecepatan putar antara variasi bukaan katup menjadi semakin jelas. Bukaan katup 100% dan 83,3% masih mampu mempertahankan kecepatan putar di atas 1470 RPM, sementara bukaan 66,6% dan bukaan 50% menurun. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi bukaan kecil, sistem lebih rentan terhadap perubahan beban. Pengoperasian pada bukaan katup

terlalu kecil sebaiknya dihindari ketika menggunakan beban yang besar, karena dapat menyebabkan penurunan RPM yang lebih cepat. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Nurhidayat,

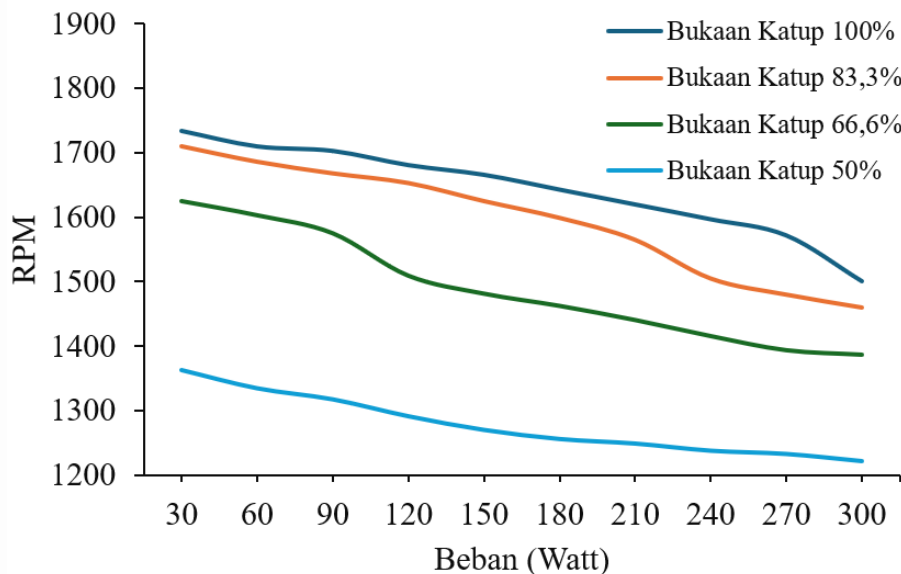
bahwa kecepatan putar menurun ketika beban listrik bertambah [13].



Gambar 3. Grafik Kecepatan Putar vs Beban Dengan Menggunakan *Impeller* Tertutup Setengah

Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat bahwa setiap peningkatan beban listrik menyebabkan penurunan kecepatan putar generator pada seluruh variasi bukaan katup menggunakan *impeller* terbuka. Pada bukaan katup 100%, kecepatan putar menurun dari 1734 RPM pada beban 30 W menjadi 1501 RPM pada beban 300 W. Pola penurunan serupa juga terjadi pada bukaan katup 83,3%, kecepatan putar turun dari 1710 RPM menjadi 1460 RPM. Dari tren grafik yang ditampilkan, dapat diidentifikasi bahwa semakin besar bukaan katup, semakin tinggi kecepatan putar yang

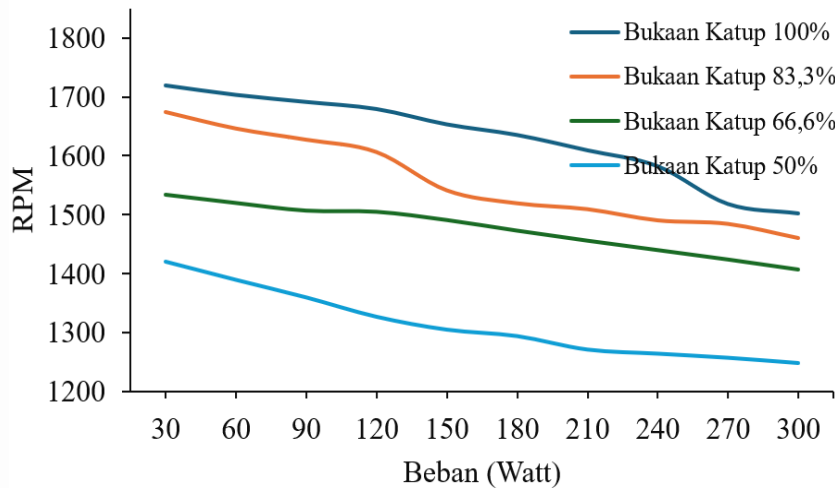
dihasilkan pada beban yang sama. Penambahan beban listrik menyebabkan peningkatan arus generator yang berdampak langsung pada peningkatan torsi elektromagnetik yang menahan putaran poros. Untuk mempertahankan kecepatan putaran dalam kondisi ini, *impeller* harus menghasilkan torsi hidraulik yang lebih besar. Namun, ketika beban terus meningkat hingga mendekati batas kemampuan sistem, energi dari aliran yang tersedia tidak lagi cukup untuk mengimbangi torsi beban sehingga kecepatan putar mengalami penurunan.



Gambar 4. Grafik Kecepatan Putar vs Beban Dengan Menggunakan *Impeller* Terbuka

Berdasarkan Gambar 5 terlihat bahwa peningkatan beban listrik menyebabkan penurunan kecepatan putar turbin yang terhubung dengan generator DC. Pada bukaan katup 100%, kecepatan putar menurun dari 1719 RPM pada beban 30 W menjadi 1502 RPM pada beban 300 W. Pada bukaan katup 83,3%, kecepatan putar berkurang dari 1674 RPM menjadi 1460 RPM. Pada bukaan katup 66,6%, kecepatan putar berkurang dari 1674 RPM menjadi 1460 RPM. Pada *impeller* tertutup penuh, terdapat penutup (*shroud*) yang berfungsi untuk mengurangi kebocoran aliran. Aliran tersebut mengikuti lintasan sudu

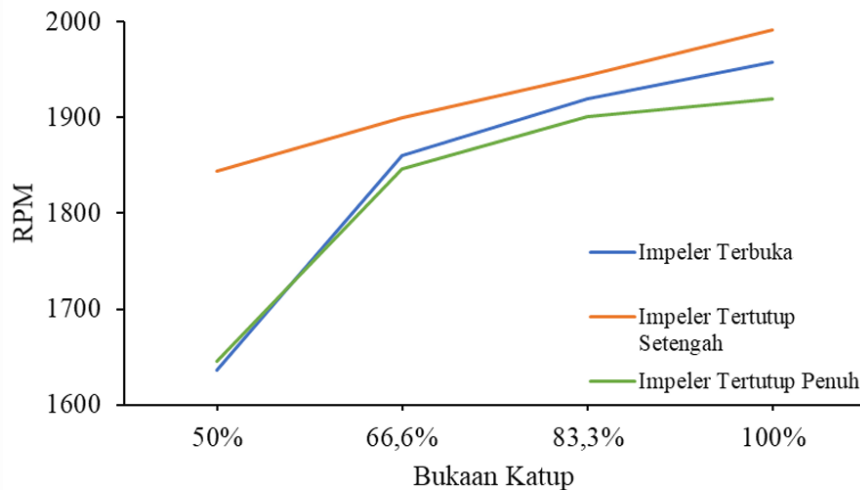
sehingga energi hidraulik dapat dikonversi menjadi energi mekanik secara lebih efisien. Kondisi ini menyebabkan *impeller* tertutup penuh mampu mempertahankan kecepatan putaran yang relatif lebih stabil pada beban tinggi dibandingkan pada bukaan katup yang lebih kecil. Namun akhirnya penurunan putaran tetap akan terjadi ketika energi aliran yang tersedia tidak mampu mengimbangi peningkatan torsi beban.



Gambar 5. Grafik Kecepatan Putar vs Beban Dengan Menggunakan *Impeller* Tertutup Penuh

Berdasarkan Gambar 6 dapat dilihat bahwa peningkatan bukaan katup dari 50% hingga 100% menyebabkan peningkatan kecepatan putar pada seluruh jenis *impeller*. *Impeller* terbuka menunjukkan peningkatan kecepatan putar dari 1636 RPM pada bukaan 50% menjadi 1958 RPM pada bukaan katup 100%. Pada *impeller* tertutup setengah, kecepatan putar meningkat dari 1844 RPM pada bukaan katup 50% menjadi 1992 RPM pada bukaan katup 100%. Sementara itu, *impeller* tertutup penuh menghasilkan kecepatan putar sebesar 1646 RPM pada bukaan 50% dan meningkat menjadi 1920 RPM pada bukaan katup 100%. Dari tren grafik dapat diidentifikasi bahwa peningkatan kecepatan putar pada *impeller* tertutup setengah menunjukkan kecenderungan yang relatif linier seiring bertambahnya bukaan katup. Selain itu, *impeller* terbuka menunjukkan performa kecepatan

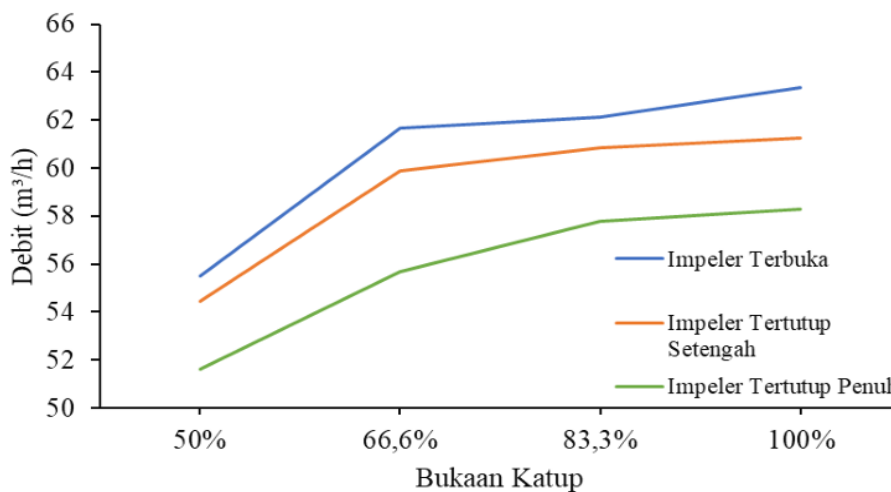
putar yang lebih tinggi dibandingkan dengan *impeller* tertutup penuh, meskipun perbedaannya tidak terlalu signifikan pada bukaan katup besar. Kinerja kecepatan putar yang lebih tinggi pada *impeller* tertutup setengah dikarenakan *impeller* tertutup setengah memiliki sisi penutup (*shroud*) yang berfungsi mengurangi kebocoran aliran sehingga fluida dapat mengenai permukaan sudu secara efektif dibandingkan *impeller* terbuka yang memiliki kebocoran aliran lebih besar serta *impeller* tertutup penuh yang cenderung mengalami peningkatan rugi-rugi gesek pada kondisi debit rendah. Pada kondisi tanpa beban, generator belum memberikan tahanan putaran sehingga kecepatan putaran turbin ditentukan oleh aliran air dan bentuk *impeller*, sehingga desain *impeller* tertutup setengah menunjukkan kinerja putaran yang lebih tinggi.



Gambar 6. Grafik Kecepatan Putar vs Jenis Impeller Tanpa Beban

Berdasarkan Gambar 7 terlihat bahwa peningkatan bukaan katup dari 50% hingga 100% menyebabkan peningkatan debit pada seluruh jenis *impeller* yang diuji. *Impeller* terbuka menunjukkan nilai debit tertinggi pada setiap variasi bukaan katup, yaitu sebesar 55,515 m<sup>3</sup>/h pada bukaan 50%, meningkat menjadi 61,656 m<sup>3</sup>/h pada bukaan 66,6%, 62,135 m<sup>3</sup>/h pada bukaan 83,3%, dan mencapai 63,369 m<sup>3</sup>/h pada bukaan katup 100%. *Impeller* tertutup setengah menghasilkan debit sebesar 54,463 m<sup>3</sup>/h pada bukaan 50%, kemudian meningkat menjadi 59,888 m<sup>3</sup>/h pada bukaan 66,6%, 60,833 m<sup>3</sup>/h pada bukaan 83,3%, dan 61,278 m<sup>3</sup>/h pada bukaan 100%. Sementara itu, *impeller* tertutup penuh menghasilkan debit terendah dibandingkan dengan kedua *impeller* lainnya, dengan debit sebesar 51,628 m<sup>3</sup>/h pada bukaan 50%,

meningkat menjadi 55,689 m<sup>3</sup>/h pada bukaan 66,6%, 57,794 m<sup>3</sup>/h pada bukaan 83,3%, dan 58,3 m<sup>3</sup>/h pada bukaan katup 100%. *Impeller* terbuka menghasilkan debit paling besar, diikuti oleh *impeller* tertutup setengah, sedangkan *impeller* tertutup penuh menghasilkan debit paling rendah. *Impeller* terbuka memiliki desain tanpa penutup (*shroud*) sehingga aliran air dapat melewati *impeller* dengan lebih mudah dan hambatan aliran menjadi lebih kecil. Adanya penutup (*shroud*) pada *impeller* tertutup setengah dan tertutup penuh membuat aliran air lebih terarah, namun kurang bebas, sehingga debit aliran yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan *impeller* terbuka. Ini sejalan dengan penelitian Fajar, bahwa jenis *impeller* terbuka memungkinkan aliran air lebih bebas mengalir [14].



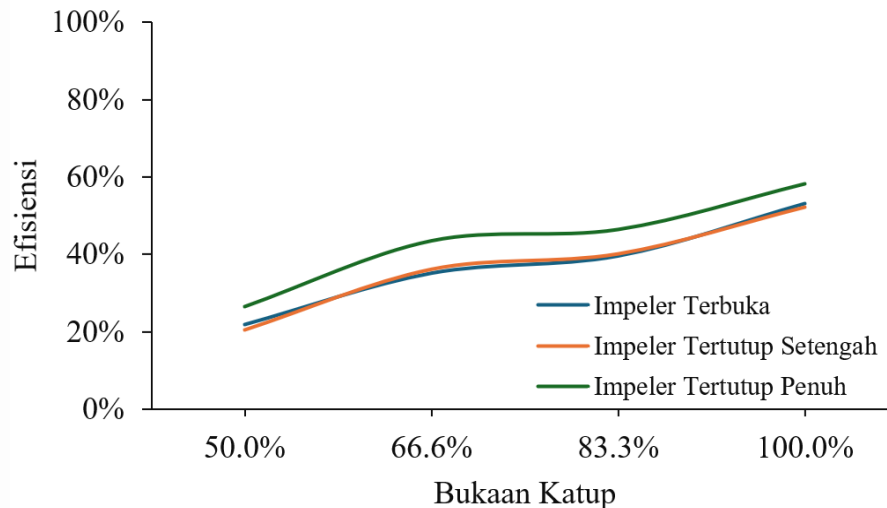
Gambar 7. Debit vs Jenis *Impeller* Tanpa Beban

Berdasarkan Gambar 8 dapat dilihat bahwa ketiga jenis *impeller* mengalami peningkatan efisiensi seiring

dengan bertambahnya bukaan katup dari 50% hingga 100%. Pada seluruh *impeller*, peningkatan efisiensi

cukup jelas terjadi dari bukaan katup 50% ke 66,6%. Selanjutnya, dari bukaan katup 66,6% ke 83,3% terjadi peningkatan efisiensi relatif kecil, sedangkan dari bukaan katup 83,3% ke 100% kembali terjadi peningkatan efisiensi yang lebih signifikan. Pada kondisi bukaan katup 100%, *impeller* tertutup penuh menghasilkan efisiensi tertinggi sebesar sekitar 58%, diikuti oleh *impeller* tertutup setengah sebesar sekitar 52%, dan *impeller* terbuka sebesar sekitar 53%. Tren grafik menunjukkan bahwa bukaan katup dan jenis

*impeller* sangat berpengaruh terhadap efisiensi sistem pada seluruh variasi *impeller*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa desain *impeller* tertutup penuh lebih efektif memanfaatkan aliran air untuk menghasilkan putaran poros. Ini sesuai dengan penelitian Hidayat bahwa *impeller* tertutup dapat memberikan efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan *impeller* terbuka, karena energi aliran air sepenuhnya diterima oleh *impeller* [15].



Gambar 8. Efisiensi vs Jenis *Impeller*

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa jenis *impeller* memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja *pump as turbine*. *Impeller* terbuka menghasilkan debit yang paling tinggi karena hambatan aliran yang lebih kecil, namun efisiensi sistemnya relatif rendah. *Impeller* tertutup setengah menghasilkan kecepatan putar yang relatif lebih tinggi dan stabil pada berbagai bukaan katup. Sementara itu, *impeller* tertutup penuh menghasilkan efisiensi tertinggi dibandingkan dengan jenis *impeller* lainnya,

terutama pada bukaan katup besar, meskipun debit yang dihasilkan lebih rendah.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan banyak terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Riau (LPPM-UNRI) atas dukungan dana dan pengelolaan hingga terlaksananya kegiatan penelitian dengan No kontrak 8212/UN19.5.1.3/AL.04/2023

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. C. A. Praditya Tampubolon, "Laporan Status Energi Bersih Indonesia," *Iesr*, pp. 1–23, 2019.
- [2] R. R. Al Hakim, "Model Energi Indonesia, Tinjauan Potensi Energy Terbarukan Untuk Ketahanan Energi Di Indonesia: Literatur Review," *ANDASIH J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 1, no. 1, p. 1, 2020.
- [3] W. O. Mardiana, N. A., & Windari, "G-Tech : Jurnal Teknologi Terapan," *J. Teknol. Terap.*, vol. 8, no. 1, pp. 186–195, 2024.
- [4] kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), "Konsumsi Energi Listrik di Indonesia."
- [5] E. Frosina, D. Buono, and A. Senatore, "A Performance Prediction Method for Pumps as Turbines (PAT) Using a Computational Fluid Dynamics (CFD) Modeling Approach," 2017, doi: 10.3390/en10010103.
- [6] S. Mejiartono, M. Fathul, and A. Sukma, "Journal of Mechatronics , Electrical Power , Numerical and experimental study of mixed flow pump as turbine for remote rural micro hydro power plant application," vol. 13, no. 2, pp. 125–136, 2022, doi: <https://dx.doi.org/10.14203/j.mev.2022.v13.125-136>.
- [7] J. Xu, L. Wang, S. N. Asomani, W. Luo, and R. Lu, "Improvement of Internal Flow Performance of a Centrifugal Pump-As-Turbine (PAT) by Impeller Geometric Optimization," *Mdpi J. Math.*, pp. 1–23, 2020, doi: 10.3390/MATH8101714.

- [8] D. L. Zariatin, Risdianto, and A. Chaeroni, "Experimental Analysis of Semi-Open Impeller Pump as Turbine," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, pp. 0–6, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/852/1/012069.
- [9] K. O. Olaore, D. B. Gwadangwaji, and M. A. Bayawa, "Utilizing an Open Impeller of a Centrifugal Pump in Reverse Mode to Generate Electricity," *J. Sci. Technol.*, vol. 30, no. 5, pp. 9–16, 2025, doi: 10.20428/jst.v30i5.2610.
- [10] D. L. Zariatin, D. Rahmalina, E. Prasetyo, A. Suwandi, and M. Sumardi, "The Effect Of Surface Roughness Of The Impeller To The Performance Of Pump as Turbine Pico Power Plant," *J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 13, no. 1, pp. 4693–4703, 2019, doi: 10.15282/jmes.13.1.2019.24.0394.
- [11] I. Akbar and E. Martianis, "Analisa Pengaruh Beberapa Bnetuk Impeller Sudu Pompa Terhadap Kecepatan Aliran dan Kinerja Pompa," *Semin. Nas. Ind. dan Teknol.*, 2019.
- [12] D. Adu, J. Du, R. O. Darko, E. Ofosu Antwi, and M. Aamir Shafique Khan, "Numerical and experimental characterization of splitter blade impact on pump as turbine performance," *Sci. Prog.*, vol. 104, no. 2, pp. 1–15, 2021, doi: 10.1177/0036850421993247.
- [13] M. Nurhidayat, "Studi Percobaan Pengaruh Variasi Beban Kerja Terhadap Unjuk Kerja Turbin Pelton Skala Mikro," *J. Mhs. Tek.*, vol. 1, no. 4, pp. 1–9, 2021.
- [14] F. Riyanto, A. Fahrudin, and E. T. Belo, "Pengaruh Variasi Bentuk Impeller Terhadap Debit dan Tekanan Air pada Prototipe Pompa," vol. 7, no. 1, pp. 35–39, 2022.
- [15] M. T. Hidayat, "Pengaruh Modifikasi Pompa dan Impeller Terhadap Unjuk Kerja Pompa Shimizu PS-128 BIT," *Pros. Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, vol. 13, no. 01, pp. 740–747, 2022, doi: 10.35313/irwns.v13i01.4160.