TIRE 1 (2026) 2

Technology, Innovation and Research in Engineering

homepage: https://journal.grahawidya.org/index.php/tire

Analisis Eksperimental Pengaruh Jumlah Beban Lampu Terhadap Performa Dan Efisiensi Turbin Pelton Pada Variasi Jumlah Beban Listrik

Experimental Analysis of the Effect of Lamp Load Quantity on the Performance and Efficiency of a Pelton Turbine under Varying Electrical Load Conditions

Candra Wahyu Sportyawan[1*], Althesa Androva[2], Hendar Wirawan[1], Jotho[1], January Jefry Prasetya[1]

[1]Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pandanaran, Semarang, Indonesia
[2]Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Dan Informatika, Universitas Persatuan Guru Republik Indonesia, Semarang, Indonesia

*Corresponding author
E-mail: candrawahyus.mesin@gmail.com

INFO ARTIKEL

Kata kunci:
Efisiensi;
Pelton;
Performa;
Turbin
Keywords:
Efficiency;
Pelton;
Perform;
Turbine

Received: 29 April 2026
Revised: 4 Agustus 2026
Online published: 31 Oktober 2026

A B S T R A K

Turbin Pelton merupakan turbin impuls yang mengonversi energi kinetik semburan fluida bertekanan tinggi dari nosel menjadi energi mekanik poros dan energi listrik melalui generator. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara eksperimental pengaruh variasi jumlah beban lampu (2, 4, dan 6 lampu 15V) terhadap kinerja turbin Pelton skala laboratorium, meliputi putaran (n), torsi (T), tegangan (V), arus (A), daya input/output, serta efisiensi sistem. Urgensi penelitian didasari oleh pentingnya pemahaman karakteristik interaksi elektro-mekanis pada instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) saat menghadapi fluktuasi beban konsumen di daerah terpencil. Pengujian menggunakan turbin Pelton 16 sudu mangkok yang disuplai oleh pompa sentrifugal Grundfos JD Basic 5 (1,5 HP). Hasil pengujian menunjukkan efisiensi tertinggi dicapai pada beban 2 lampu yaitu sebesar 69,20% dengan kecepatan putar 516 rpm. Saat beban ditingkatkan menjadi 4 lampu, kecepatan putar turun menjadi 486 rpm dan efisiensi merosot ke 63,40% akibat peningkatan rugi-rugi arus jangkar (I^2R loss) dan pergeseran rasio kecepatan spesifik turbin dari kondisi optimal. Pada pembebanan 6 lampu, efisiensi kembali meningkat ke 68,07% pada putaran 437 rpm akibat penyesuaian impedansi beban (impedance matching) terhadap kurva daya generator. Temuan ini memberikan implikasi praktis pentingnya penerapan pembebanan terdistribusi dan sistem pengatur beban otomatis (electronic load governor) pada skema PLTMH guna menjaga efisiensi operasional tetap optimal.)

A B S T R A C T

A Pelton turbine is an impulse turbine that utilizes the kinetic energy of high-pressure fluid from a nozzle to rotate the runner blades, converting it into mechanical energy on the shaft, and then converting it into electrical energy via a generator. Its uses include micro-hydro power plants (PLTMH) on fast-flowing rivers or for irrigation, especially in mountainous areas with altitudes exceeding 300 meters, as a renewable alternative energy source to replace fossil fuels. This study aims to analyze the effect of varying the number of lamp loads (2, 4, and 6 lamps) on the performance of a small-scale Pelton turbine, including rotation speed, torque, power, and efficiency, under varying air pressure. The expected results provide turbine A Pelton turbine is an impulse turbine that utilizes the kinetic energy of high-pressure fluid from a nozzle to rotate the runner blades, converting it into mechanical energy on the shaft, and then converting it into electrical energy via a generator. Its uses include micro-hydro power plants (PLTMH) on fast-flowing rivers or for irrigation, especially in mountainous areas with altitudes exceeding 300 meters, as a renewable alternative energy source to replace fossil fuels. This study aims to analyze the effect of varying the number of lamp loads (2, 4, and 6 lamps) on the performance of a small-scale Pelton turbine, including rotation speed, torque, power, and efficiency, under varying air pressure. The expected results provide turbine with 16 blades, a nozzle, a generator, and a 15V lamp load were conducted in the Energy Conversion Machines Laboratory at PGRI Semarang University. Testing involved measuring rotation speed (n), torque

doi
ISSN xxxxxxxx (online), xxxx (print)/© 2026.
Tire is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

Technology, Innovation and Research in Engineering

homepage: https://journal.grahawidya.org/index.php/tire

(T), voltage (V), current (A), input/output power, and efficiency. The highest efficiency was obtained at a load of 2 lamps of 69.2%, then decreased at a load of 4 lamps to 63.4%, then at a load of 6 lamps the efficiency increased again to 68.07%, this shows that efficiency does not always increase with increasing load, but is influenced by the suitability of the load to the working capacity of the turbine. While for the rotation obtained 512 rpm with a load of 2 lamps, 486 with 4 lamps and 486 with a load of 6 lamps. The highest rotation is located at a load of 2 lamps, this shows that the turbine has a limited ability to maintain rotation when the load continues to be increased (pelton turbines do not continue to rotate at the same speed when the load increases).

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang dan Urgensi Penelitian

Kebutuhan energi listrik nasional terus meningkat secara signifikan seiring laju pertumbuhan penduduk dan ekspansi sektor industri. Sebagian besar pasokan energi listrik hingga saat ini masih didominasi oleh pembangkit berbasis bahan bakar fosil seperti batubara dan minyak bumi yang ketersediaannya di alam semakin menipis serta memicu dampak negatif emisi gas rumah kaca. Untuk meminimalisir ketergantungan pada energi fosil, pemanfaatan sumber energi terbarukan seperti energi air melalui Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) menjadi solusi strategis, terutama di daerah pedesaan dan pegunungan Indonesia yang kaya akan potensi aliran air ber-head tinggi.

Turbin Pelton merupakan jenis turbin impuls yang sangat efisien dioperasikan pada kondisi head tinggi (lebih dari 300 meter) dengan debit relatif sedang hingga kecil. Prinsip kerjanya mengonversi energi potensial dan tekanan fluida menjadi energi kinetik melalui nosel, yang kemudian disemprotkan ke sudu-sudu runner untuk memutar poros dan menggerakkan generator listrik. Dalam pengoperasian riil PLTMH, beban listrik yang ditanggung generator selalu berubah-ubah sesuai dengan konsumsi pemakai. Fluktuasi beban listrik ini memberikan reaksi torsi elektromagnetik balik (counter-torque) pada generator yang secara langsung memengaruhi kecepatan putar poros turbin, efisiensi volumetrik-mekanis, serta kualitas daya listrik yang dihasilkan.

Urgensi penelitian ini terletak pada perlunya pemahaman mendalam mengenai respon dinamik dan efisiensi konversi energi pada turbin Pelton skala kecil ketika menerima variasi pembebanan listrik resistif secara langsung. Tanpa adanya pemahaman karakteristik ini, perencanaan instalasi PLTMH skala mikro kerap mengalami penurunan efisiensi drastis atau kegagalan operasional akibat ketidaksesuaian (mismatch) antara kapasitas mekanis turbin dan pembebanan generator.

1.2. Tinjauan Pustaka

Beberapa studi eksperimental dan numerik sebelumnya telah mengkaji berbagai parameter performa turbin Pelton: Kajian eksperimental menunjukkan bahwa diameter nosel, debit, dan head memengaruhi daya serta efisiensi turbin (Alomar et al., 2022), sedangkan konfigurasi head-nosel juga menentukan daya listrik keluaran (Kholifah et al., 2018). Analisis numerik dan eksperimental pada turbin Pelton menegaskan pentingnya karakteristik aliran dan torsi (Xiao et al., 2014). Kajian lain membahas pengaruh beban listrik terhadap kinerja keseluruhan PLTMH (Delgado-currín & Calderón-muñoz, 2025), metode eksperimen untuk memahami aliran internal turbin (Zishi et al., 2024), serta performa turbin pada parameter desain berbeda. Temuan tentang pengaruh kondisi operasi, geometri sudu, dan jumlah nosel memperkuat relevansi pengujian variasi beban dalam penelitian ini (Pane, 2026), (Dwi et al., 2020).

Juliano & Adiwibowo (2023): Menguji pengaruh variasi jumlah sudu berpenampang segitiga terhadap daya dan efisiensi turbin Pelton. Metode penelitian berupa variasi debit air (0,001854 m^3/s s.d. 0,003114 m^3/s) dan pembebanan mekanis (10–25 kg). Hasil penelitian menunjukkan daya tertinggi dicapai pada sudu 12 buah sebesar 46,26 Watt, sedangkan efisiensi terbaik sebesar 72,22% diperoleh pada kapasitas aliran 0,001854 m^3/s dengan pembebanan 10 kg.

Nurhidayat (2021): Melakukan studi eksperimen pengaruh variasi beban kerja terhadap unjuk kerja turbin Pelton skala mikro. Menggunakan beban uji 28 W, 36 W, dan 42 W, diperoleh nilai putaran masing-masing 460,9 rpm, 431,7 rpm, dan 386,2 rpm dengan torsi 0,596 Nm, 0,729 Nm, dan 0,909 Nm. Efisiensi turbin berturut-turut adalah 32,73%, 41,57%, dan 50,02%.

Sonjaya (2025) / Abeth dkk. (2025): Merencanakan dan menguji turbin Pelton 18 sudu mangkok untuk PLTMH kapasitas 100 Watt (debit 21,4 L/menit, head 3,46 m, diameter runner 370 mm, nosel 75 mm). Pengujian variasi beban 0–25 Watt

doi
ISSN xxxxxxxx (online), xxxx (print)/© 2026.
Tire is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

menghasilkan putaran maksimum 424 rpm tanpa beban dan 205 rpm pada beban 25 W dengan efisiensi puncak 70%.

Barus dkk. (2022) dan Irawani dkk. (2018): Mengkaji respon performa turbin Pelton berdasarkan variasi diameter nosel dan bukaan katup suplai, di mana perubahan tekanan dan kecepatan semburan nosel terbukti dominan menentukan stabilitas tegangan keluaran generator.

1.3. Gap Penelitian (*Research Gap*)

Meskipun variasi mekanis seperti bentuk sudu, jumlah sudu, debit, dan head telah banyak diteliti, sebagian besar penelitian belum menganalisis secara spesifik bagaimana variasi beban listrik diskrit berupa rangkaian lampu resistif (2, 4, dan 6 lampu 15V) memengaruhi fenomena coupling elektro-mekanis, perubahan torsi lawan (counter-torque), pergeseran rasio kecepatan spesifik (velocity ratio u/v1), dan titik efisiensi non-linear pada sistem turbin-generator secara simultan.

1.4. Kebaruan Penelitian (Novelty)

Kebaruan dari penelitian ini adalah pengungkapan fenomena non-linearitas efisiensi konversi energi turbin Pelton skala laboratorium akibat variasi jumlah lampu beban resistif secara riil, serta menyajikan analisis fenomena sebab-akibat elektro-mekanis (interaksi torsi hidrolik vs torsi elektromagnetik generator) yang mendasari fluktuasi grafik efisiensi konversi energi.

1.5. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah: (1) Menganalisis secara kuantitatif pengaruh variasi jumlah beban lampu (2, 4, dan 6 lampu) terhadap parameter putaran (n), torsi (T), tegangan (V), arus (A), daya input, daya output, dan efisiensi turbin Pelton; (2) Menganalisis fenomena fisik sebab-akibat elektro-mekanis yang memengaruhi stabilitas kinerja turbin. Manfaat penelitian adalah memberikan acuan teknis dan rekomendasi desain operasional bagi pengembangan dan manajemen beban PLTMH skala mikro di lapangan.

2. Metode Penelitian

2.1. Bahan

Turbin Pelton skala kecil yang digunakan sebagai alat praktikum dan penelitian ini dilengkapi dengan 16 buah sudu turbin. Sistem pembangkit listriknya menggunakan lampu bertegangan 15volt sejumlah 6 buah lampu sebagai beban, serta pengambilan data dan pengujian dilakukan di laboratorium Mesin Konversi Energi, Motor yang digunakan dalam penelitian ini adalah motor listrik Merk GRUNDFOS tipe JD Basic 5 dengan nomor seri 96992068. Motor ini beroperasi pada tegangan 3 fasa sebesar 220/240 V dengan frekuensi 50 Hz dan arus nominal 7 A. Daya keluaran motor sebesar 1,36 kW atau setara dengan 1,5 HP, serta memiliki kecepatan putar 2800 rpm Pada Gambar 1 (a) dan (b).



Gambar 1 (a).Turbin pelton skala kecil, (b). spesifikasi motor.

2.2. Metode

Metode Skema Eksperimen turbin Pelton skala kecil pada Gambar 2 terdiri atas dari beberapa komponen utama yang tersusun seperti Tangki, Sudu, Runner, Bok Panel, Nozzle dan lainnhya. Sistem diawali dengan bak penampung air (tangki air) digunakan untuk menampung Air yang berfungsi sebagai sumber energi potensial, di mana dari perbedaan ketinggian head dimanfaatkan untuk menghasilkan tekanan aliran. Pada skema Turbin Pelton skala kecil diawali dari sumber air yang berasal dari bak penampung reservoir yang diletakkan pada ketinggian tertentu untuk menghasilkan tekanan. Air dari bak penampung dialirkan

melalui pipa menuju nosel, di mana energi potensial air diubah menjadi energi kinetik berupa semburan atau semprotan air berkecepatan tinggi. Nosel diarahkan tepat ke sudu turbin Pelton sehingga semburan air mendorong sudu dan menyebabkan runner berputar. Putaran poros turbin kemudian diteruskan ke generator. Generator mengubah energi mekanik menjadi energi listrik, yang selanjutnya dialirkan ke rangkaian beban berupa lampu atau resistor melalui alat ukur listrik seperti multimeter untuk pengukuran tegangan dan arus. Air yang telah mengenai sudu kemudian dialirkan kembali ke saluran pembuangan menuju bak penampung atau saluran drainase, sehingga sistem dapat bekerja secara berkelanjutan selama suplai air masih tersedia.



Gambar 2. Skema Eksperimen.

Daya input (N) merupakan daya yang masuk ke sistem akibat putaran poros turbin. Besarnya Daya input dihitung dengan Persamaan sebagai berikut 1:

$$P_{in} = \rho.g.Q.H_n \quad (1)$$

Daya Listrik atau dalam bahasa Inggris disebut dengan Electrical Power adalah jumlah energi yang diserap atau dihasilkan dalam sebuah sirkuit/rangkaian. Didalam pengujian ini peneliti meneliti daya yang dihasilkan oleh turbin, dalam hal ini peneliti juga melakukan pengujian dengan cara memvariasikan kemiringan bucket dan memvariasikan flow atau debit aliran yang masuk kedalam turbin (Kurniawan 2022). Berikut rumus untuk menghitung daya yang dihasilkan oleh turbin menggunakan Persamaan 2:

$$P_{out} = \eta.\rho.g.Q.H_n \quad (2)$$

Daya air dan daya poros dihitung dengan menggunakan Persamaan 3 dan 4.

$$P_W = \rho.g.Q.H \quad (3)$$

$$P_S = \eta_t.\rho.g.Q.H_n \quad (4)$$

Efisiensi turbin adalah perbandingan daya yang dihasilkan dengan daya masuk. Adapun rumus untuk menentukan efisiensi turbin adalah Persamaan 5:

$$\eta_t = \frac{P_{poros}}{P_{air}} \quad (5)$$

2.3. Pengujian

Pengujian kinerja turbin dilakukan dengan variasi jumlah lampu sebagai beban, yaitu 2 lampu, 4 lampu, dan 6 lampu. Variasi beban ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan beban listrik terhadap putaran turbin, daya yang dihasilkan, serta efisiensi sistem turbin–generator.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengujian

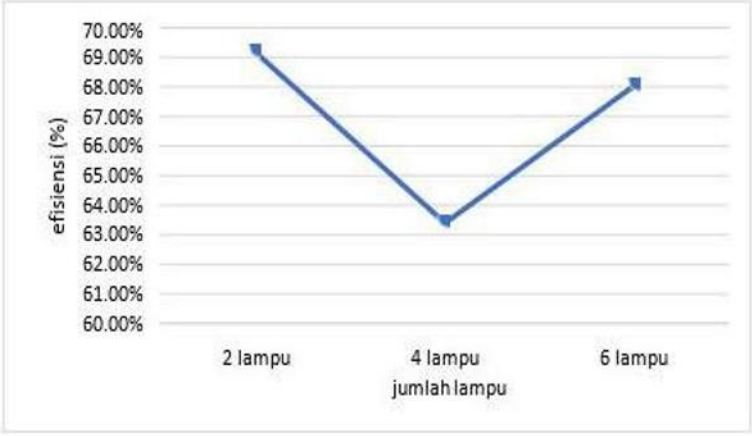
Pengujian kinerja turbin dilakukan dengan variasi jumlah lampu sebagai beban, yaitu 2 lampu, 4 lampu, dan 6 lampu. Variasi beban ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan beban listrik terhadap putaran turbin, daya yang dihasilkan, serta efisiensi sistem turbin–generator. Pada pengujian dengan 2 lampu, turbin menghasilkan putaran sebesar 516 rpm dengan torsi sebesar 8,8. Tabel 1 menjelaskan hasiol pengujuan berupa nilai tegangan keluaran yang dihasilkan mencapai 11,78 V dengan arus sebesar 2,78 A. Dari nilai tersebut diperoleh daya input sebesar 0,00006336 dan daya output sebesar 0,00004388. Perbandingan antara daya output dan daya input menunjukkan efisiensi sistem sebesar 69,2%. Nilai efisiensi ini merupakan yang tertinggi di bandingkan

variasi beban lainnya, karena beban listrik yang relatif kecil masih memungkinkan turbin berputar pada kecepatan tinggi. Pada pengujian dengan 4 lampu, terjadi peningkatan beban listrik yang menyebabkan putaran turbin menurun menjadi 486 rpm, meskipun torsi meningkat menjadi 9,6. Tegangan yang dihasilkan menurun menjadi 10,31 V dengan arus sebesar 2,99 A. Daya input yang diperoleh sebesar 0,00006511, sedangkan daya output sebesar 0,00004131. Efisiensi sistem pada kondisi ini sebesar 63,4%. Penurunan efisiensi ini disebabkan oleh bertambahnya beban yang menghambat putaran turbin sehingga konversi energi menjadi kurang optimal. Selanjutnya, pada pengujian dengan 6 lampu, beban listrik yang diberikan semakin besar sehingga putaran turbin kembali mengalami penurunan menjadi 437 rpm dengan torsi sebesar 7,4. Tegangan keluaran yang dihasilkan sebesar 9,25 V dan arus sebesar 2,41 A. Daya input pada kondisi ini sebesar 0,00004512, sedangkan daya output yang dihasilkan sebesar 0,00003072. Efisiensi sistem yang diperoleh adalah 68,07%. Meskipun putaran dan daya output menurun, efisiensi masih relatif stabil karena sistem masih mampu menyesuaikan antara daya mekanik dan daya listrik yang dihasilkan. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan jumlah lampu sebagai beban menyebabkan penurunan putaran turbin, yang berdampak pada perubahan daya dan efisiensi sistem. Beban yang terlalu besar akan menghambat kinerja turbin, sedangkan beban yang lebih kecil memungkinkan turbin beroperasi pada kondisi yang lebih optimal.

Tabel 1. Hasil Uji Eksperimen Turbin Pelton.

Jumlah Lampu	Putaran (n)	Torsi (T)	Daya *Input* (P_{in})	Voltage (V)	Amphere (A)	Daya *Output* (P_{out})	Efisiensi (η)
2	516	8,8	0,00006336	11,78	2,78	0,00004388	69,2 %
4	486	9,6	0,00006511	10,31	2,99	0,00004131	63,4 %
6	437	7,4	0,00004512	9,25	2,41	0,00003072	68,07 %

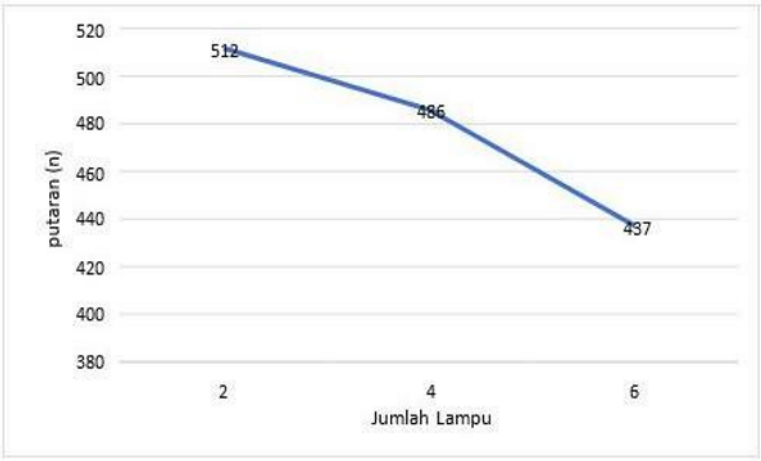
Selain itu, penelitian ini menyajikan data dalam bentuk grafik untuk menggambarkan Beban Lampu dan efisiensi maksimum yang dicapai oleh turbin Pelton seperti yang dijelaskan oleh Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Hubungan Efisiensi terhadap Variasi Jumlah Lampu

Dari grafik diatas dapat dijelaskan bahwa hubungan jumlah lampu sebagai beban dengan efisiensi turbuin pelton, pada beban 2 lampu, efisiensi berada pada nilai tertinggi sekitar 69,2%, hal ini menunjukkan bahwa sistem bekerja dengan optimal karena bebanya masih ringan, saat beban ditingkatkan menjadi 4 lampu, efisiensi menurun hingga sekitar 63,4% yang menandakan meningkatnya arus sehingga kinerja dari sistem menjadi kurang optimal, dan pada saat beban dinaikkan hingga 6 lampu efisiensi kembali meningkat sekitar 68,07%, yang menunjukkan bahwa saat kondisi ini sistem mulai lebih stabil (mendekati nilai awal) dengan rata rata efisiensi 66,89%.

Pada Gambar 4 dijelaskan bahwa semakin banyak lampu yang digunakan, putaran turbin pelton semakin menurun. Pada saat turbin dibebani 2 lampu, putaran turbin masih lumyan tinggi 512 rpm, ketikan jumlah lampu ditambah menjadi 4 lampu, putaran turbin menurub mejadi 486 rpm, pada saat beban 6 lampu, putaran turbin turun menjadi 437 rpm. Dari hasil ini kita dapat mengetahui bahwa jumlah beban lampu sangat mempengaruhi putaran turbin pelton, semakin besar beban yang diberikan, semakin menurun putaran turbin yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan trubin memiliki batasan kemampua dalam mempertahankan putaran ketika beban terus ditambah (turbin pelton tidak terus berputar dengan kecepatan yang sama saat beban semakin bertambah).



Gambar 4. Grafik hubungan putaran terhadap variasi jumlah lampu.

4. Kesimpulan

Variasi jumlah lampu sebagai beban memberikan pengaruh/dampak terhadap kerja dari Turbin Pelton, meliputi Putaran (n), Torsi (T), Daya, dan Efisiensi (η). Peningkatan jumlah beban lampu menyebabkan penurunan Putaran sistem yang menunjukkan bertambahnya beban kerja yang harus ditanggung. Hasil Putaran yang didapatkan 512 rpm dengan beban 2 lampu, 486 dengan 4 lampu dan 486 dengan beban 6 lampu. Putaran tertinggi terletak pada beban 2 lampu .Efisiensi tertinggi diperoleh pada beban 2 lampu sebesar 69,2%, kemudian turun pada beban 4 lampu menjadi 63,4%, kemudian pada beban 6 lampu efisiensi kembali meningkat menjadi 68,07%, hal ini menunjukkan bahwa efisiensi tidak selalu meningkat seiring bertambahnya beban, tetapi dipengaruhi oleh kesesuaian beban terhadap kemampuan kerja dari turbin tersebut.

Referensi

[1] Aditama, H. D., & Adiwibowo, P. H. 2023. "Studi Eksperimental Pengaruh Jarak Nossel Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin Pelton. Jurnal Teknik Mesin", 11, hlm. 81–88.

[2] Juliano, M. R., & Adiwibowo, P. H. (2023). "Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Berpenampang Segitiga Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin Pelton". Jurnal Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya. Hlm. 1-10.

[3] Amin, M. S., Suharno, K., & Budiono, H. S. (2022). Analisis Variasi Basin Turbin Reaksi Vortex Ultra Low-Head Sudu Aksial Menggunakan Metode CFD. Jurnal Teknik Mesin, Universitas Tidar Magelang & Universitas PGRI Semarang. Hlm. 1-11

[4] Irawani, H., Syamsuri, & Rahmad, Q. (2018). Analisis Performansi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air Jenis Turbin Pelton Dengan Variasi Bukaan Katup Dan Beban Lampu Menggunakan Inverter. Untag Surabaya. Hlm. 1-13.

[5] Abeth, Nugroho, dkk (2025). Perencanaan Turbin Pelton Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Kapasitas 100 watt. Jurnal Teknologi.11, hlm. 100-109

[6] Muhammad Nurhidayat (2021). Studi Percobaan pengaruh Varisasi Beban Kerja Terhadap Unjuk Kerja Turbin Pelton Skala Mikro.1 No 4 Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Medan

[7] Gerrits D. Soplanit, dkk (2016). Uji Model Turbin Jenis Pelton Untuk Menentukan Daya Head Dan Kapasitas Prototipe Turbin Pelton Pada Desa Berair Terjun Pinaras Di Minahasa. jurnal Tekno Mesin.2, 3. Universitas Sam Ratulangi, Manado. Hlm. 1-9.

[8] Barus, M. R., Kurniawan, F., & Junaidi. (2022). Respon Kinerja Turbin Pelton Dengan Diameter Nozle Aliran Tekanan Air. Buletin Utama Teknik.17, No. 2, Januari 2022. Hlm. 1-13.

[9] M Safi'i, N. Sinaga, M. S. Amin., (2024). Investigasi Model Numerik Turbin Reaksi Vortex Ultra-Low Head Dengan Memvariasikan Jumlah Grid Dan Metode Pemecahan Solusi. JURNAL DEVICE, VOL. 14 NO 2, November 2024, hlm. 225-235.

[10] Alomar, O. R., Abd, H. M., Mohamed Salih, M. M., & Ali, F. A. (2022). Performance Analysis Of Pelton Turbine Under Different Operating Conditions: An Experimental Study. Ain Shams Engineering Journal, 13(4), 101684. https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.101684

[11] Kholifah, N., Setyawan, A. C., Wijayanto, D. S., Widiastuti, I., & Saputro, H. (2018). Performance of Pelton Turbine For Hydroelectric Generation In Varying Design Parameters. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 288(1), 012108. https://doi.org/10.1088/1757-899X/288/1/012108

[12] Xiao, Y., Wang, Z., Zhang, J., et al. (2014). Numerical And Experimental Analysis Of The Hydraulic Performance Of A Prototype Pelton Turbine. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy, 228(1). https://doi.org/10.1177/0957650913506711

[13] Delgado-Currín, R. R., Calderón-Muñoz, W. R., Elicer-Cortés, J. C., & Hunter-Alarcón, R. (2025). Effect of Electrical Load And Operating Conditions On The Hydraulic Performance Of A 10 Kw Pelton Turbine Micro Hydropower Plant. Energies, 18(16), 4413. https://doi.org/10.3390/en18164413

[14] Gui, Z., Xiao, Y., Li, D., Lin, H., Xiao, W., & Zhu, Y. (2024). A Review Of The Experimental Techniques Research Progress Of The Pelton Turbine. Journal of Physics: Conference Series, 2752, 012049. https://doi.org/10.1088/1742-6596/2752/1/012049

[15] Pane, M. (2026). Experimental Study Of The Effect Of Water Pressure Variations And Number Of Nozzles On Pelton Turbine Power And Efficiency In A Laboratory-Scale Micro Hydropower System. Journal of Mechanical Engineering Manufactures Materials and Energy, 10(1), 121–133. https://doi.org/10.31289/jmemme.v10i1.17463

[16] Pambudi, Y. D. S., Rokhmanila, S., & Septian MN, A. (2020). Rancang Bangun Generator Magnet Permanen Dan Generator Induksi Pada Sistem PLTMH. EPIC Journal Of Electrical Power Instrumentation And Control, 3(1), 45–51. https://doi.org/10.32493/epic.v3i1.3728