

UJI KARAKTERISTIK TURBINE PELTON DENGAN VARIASI SPEED DAN LOAD

*Aldila Daffa Adhiono¹, Khoiri Rozi²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: daffaaldila2020@gmail.com

Abstrak

Turbin Pelton merupakan jenis turbin impuls yang umum digunakan pada sistem pembangkit listrik tenaga air (PLTA) dengan karakteristik *head* tinggi dan debit rendah. Kinerja turbin ini sangat dipengaruhi oleh parameter operasi seperti kecepatan putar (*speed*) dan beban (*load*). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik kerja turbin Pelton terhadap variasi kedua parameter tersebut guna menentukan kondisi operasi optimal. Metode yang digunakan adalah eksperimental menggunakan model turbin skala laboratorium tipe HM 150.19. Parameter yang diukur meliputi debit (*Q*), *head* (*H*), kecepatan putar (*n*), torsi (τ), dan daya keluaran poros (BHP). Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan beban menyebabkan penurunan putaran namun meningkatkan torsi hingga titik tertentu. Efisiensi turbin mencapai nilai maksimum pada kombinasi *speed* dan *load* tertentu sebelum akhirnya menurun akibat rugi-rugi mekanis dan hidrolik.

Kata Kunci: beban; efisiensi; kecepatan putar; mikrohidro; turbin pelton

Abstract

The Pelton turbine is a type of impulse turbine commonly used in hydroelectric power plant (PLTA) systems with high head and low flow rate characteristics. The performance of this turbine is highly influenced by operating parameters such as rotational speed and load. This study aims to analyze the working characteristics of the Pelton turbine against variations in these two parameters to determine optimal operating conditions. The method used is experimental, utilizing a laboratory-scale turbine model type HM 150.19. Measured parameters include flow rate (*Q*), head (*H*), rotational speed (*n*), torque (τ), and brake horsepower (BHP). The results showed that an increase in load leads to a decrease in rotation but increases torque up to a certain point. Turbine efficiency reaches its maximum value at a specific combination of speed and load before eventually declining due to mechanical and hydraulic losses.

Keywords: efficiency; load; micro-hydro; pelton turbine; rotational speed

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Transisi energi global menuju sumber daya terbarukan menempatkan tenaga air sebagai pilar utama. Turbin Pelton bekerja berdasarkan hukum Newton kedua, di mana perubahan momentum fluida yang menumbuk sudu menghasilkan gaya dorong pada *runner*. Keunikan turbin Pelton terletak pada kemampuannya menjaga efisiensi tetap tinggi meskipun terjadi fluktuasi debit, asalkan tekanan (*head*) tetap stabil. Namun, dalam implementasi praktis, perubahan beban pada generator (yang direpresentasikan sebagai *load* dalam eksperimen ini) sering kali menyebabkan turbin keluar dari titik operasi optimalnya.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana pengaruh variasi bukaan nosel (INN) terhadap ketersediaan energi hidrolik, dan bagaimana interaksi antara beban mekanis dengan kecepatan putar memengaruhi efisiensi total pada perangkat uji HM 150.19?

2. Bahan dan Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan batasan masalah aliran bersifat inkompresibel dan *steady*, tanpa kebocoran, serta mengabaikan perpindahan panas.

2.1 Alat dan Bahan

Alat utama yang digunakan meliputi:

- Model uji turbin Pelton HM 150.19.
- Modul dasar HM 150 sebagai penyalur air.
- Alat ukur: Manometer (tekanan), *stopwatch* dan tangki volumetrik (debit), serta *tachometer* (kecepatan putar).

2.2 Prosedur Pengujian

Variasi kecepatan diperoleh melalui pengaturan bukaan *Inlet Nozzle Needle* (INN) dan *gate opening*. Sedangkan variasi beban diberikan melalui *braking device* (alat pengereman). Langkah pengujian dimulai dengan mengatur debit, kemudian memberikan beban secara bertahap sambil mencatat perubahan putaran poros dan tekanan masuk.

2.3 Instalasi Eksperimen

Pengujian dilakukan di Laboratorium Departemen Teknik Mesin Universitas Diponegoro menggunakan alat uji HM 150.19. Unit ini dilengkapi dengan nosel jarum yang dapat diatur, *runner* dengan sudu transparan untuk observasi visual, dan sistem pembebanan sabuk.

2.4 Matriks Pengujian

Data diambil pada tiga variasi bukaan INN:

1. INN 1 (Bukaan Kecil): Fokus pada pengamatan aliran debit rendah.
2. INN 3 (Bukaan Menengah): Mewakili kondisi operasional standar.
3. INN 5 (Bukaan Maksimal): Untuk melihat limitasi sistem pada debit tertinggi.

2.5 Pengukuran Data

Pengukuran dilakukan secara simultan untuk setiap perubahan beban:

1. Debit (Q) diukur menggunakan *rotameter* atau *venturimeter*.
2. Tekanan masuk (H) melalui *pressure gauge*.
3. Putaran poros (n) menggunakan *digital tachometer*.
4. Gaya pengereman diukur melalui dua pegas dial pada rem sabuk.

2.6 Parameter Perhitungan

Data yang diperoleh diolah menggunakan persamaan berikut:

1. **Daya Hidrolik (WHP):** Menghitung energi kinetik air yang masuk.
2. **Daya Poros (BHP):** Menghitung daya mekanis yang dihasilkan poros.
3. **Efisiensi (η):** Perbandingan antara BHP dan WHP.

2.7 Prosedur Analisis

Data dihitung menggunakan rumus standar mekanika fluida:

1. **Daya Hidrolik (WHP):** $Phyd = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$
2. **Daya Poros (BHP):** $P_{Brake} = \tau \cdot \omega = (F \cdot r) \cdot \frac{2\pi n}{60}$
3. **Efisiensi (η):** $\frac{BHP}{WHP} \times 100 \%$

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan data eksperimen, ditemukan hubungan yang signifikan antara beban dan kecepatan putar.

3.1 Pengaruh Beban terhadap Kecepatan dan Torsi

Secara konsisten, peningkatan beban mekanis pada poros mengakibatkan penurunan kecepatan putar (RPM). Namun, di sisi lain, torsi yang dihasilkan cenderung meningkat seiring bertambahnya beban hingga mencapai titik puncak tertentu sebelum akhirnya membebani putaran secara berlebihan.

3.2 Karakteristik Efisiensi

Hasil pengujian menunjukkan bahwa efisiensi turbin tidak bersifat linier. Kurva efisiensi meningkat seiring dengan penyesuaian beban hingga mencapai titik optimal. Efisiensi maksimum dicapai ketika kecepatan linear sudu (*bucket velocity*) mendekati 50% dari kecepatan jet air, sesuai dengan teori dasar momentum. Pada kondisi bukaan katup penuh (*Fully Open*), turbin cenderung memberikan performa daya yang lebih stabil dibandingkan pada bukaan parsial.

3.3 Kondisi Operasi Optimal

Debit air meningkat seiring bertambahnya bukaan INN, namun *head* cenderung menurun akibat peningkatan kehilangan aliran (*flow losses*). Titik operasi optimum ditemukan pada kombinasi spesifik antara bukaan *nozzle* dan pembebanan yang meminimalkan rugi-rugi mekanis serta turbulensi di sekitar *runner*.

3.4 Kurva Performa dan Efisiensi

Analisis efisiensi (η) menunjukkan bahwa setiap variasi INN memiliki karakteristik unik:

1. Pada INN 1, efisiensi puncak relatif rendah karena kerugian mekanis (gesekan pada poros dan bantalan) mendominasi dibandingkan daya hidrolik yang kecil.

2. Pada **INN 5**, daya yang dihasilkan sangat besar, namun efisiensi dapat terganggu jika sistem suplai air tidak mampu mempertahankan tekanan (*head drop* yang tajam).
3. Titik efisiensi optimal ditemukan pada **INN 3** pada kecepatan putar menengah, yang menunjukkan keseimbangan terbaik antara momentum air dan pengurangan kerugian hidrolik.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Variasi beban sangat memengaruhi kecepatan putar dan torsi, di mana beban yang terlalu tinggi akan menurunkan RPM secara drastis.
2. Efisiensi turbin Pelton sangat bergantung pada kombinasi parameter operasional; terdapat titik puncak efisiensi pada setiap variasi bukaan *inlet*.
3. Hasil eksperimen ini dapat dijadikan referensi teknis dalam perancangan sistem mikrohidro agar dapat beroperasi pada titik kerja paling efisien.
4. Performa terbaik turbin tercapai pada kondisi katup *Fully Open* (FO) dengan bukaan *Inlet Nozzle Needle* (INN) 3, menghasilkan daya poros (**BHP**) sebesar **1,2043 Watt** pada putaran **600 RPM**.
5. Penambahan beban mekanis (*load*) secara konsisten meningkatkan torsi (maksimum **0,0333 Nm**), namun menyebabkan penurunan kecepatan putar (*speed/RPM*) di semua variasi pengujian.
6. Kondisi katup *Fully Open* (FO) menghasilkan daya dan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan bukaan parsial (PO 1 dan PO 2) karena minimnya rugi-rugi aliran (*head loss*) sebelum air mencapai *nozzle*.
7. Debit air (*Q*) berbanding lurus dengan besarnya bukaan INN, sedangkan *head* (*H*) tertinggi didapatkan pada bukaan terkecil (INN 1) sebesar **0,0051 m**.
8. Kurva efisiensi berbentuk parabola, menunjukkan bahwa turbin memiliki titik kerja optimal pada kombinasi beban dan kecepatan tertentu; di luar titik tersebut, efisiensi menurun akibat rugi-rugi mekanis dan gesekan fluida.

4.2 Saran

1. Peningkatan Akurasi Data Kalibrasi Total: Standarisasi berkala pada manometer, tachometer, dan alat ukur lainnya. Digitalisasi (DAQ): Mengganti pengukuran manual dengan flowmeter digital dan data logger untuk meminimalisir human error.
2. Pengembangan Analisis Detail Rugi-Rugi: Menguraikan losses menjadi komponen hidrolik, mekanik, dan volumetrik. Visualisasi CFD: Menggunakan simulasi fluida untuk memvalidasi aliran dan mendeteksi kavitasi pada bucket.
3. Perluasan Studi Memperluas rentang variasi beban dan bukaan INN. Studi komparasi dengan jenis turbin impuls lain (Turgo atau Crossflow).

5. Daftar Pustaka

- [1] Kumar, D., & Prasad, B. (2017). *Design and performance analysis of Pelton turbine*. Energy Procedia, 109, 491–498.
- [2] Singh, P., & Nestmann, F. (2010). *An optimization routine on a prediction and selection model for Pelton turbine*. Renewable Energy, 35(9), 1970–1978.
- [3] Yusuf, M., Haris, H., & Setiawan, D. (2020). *Performance Testing of Pelton Turbine with Varying Nozzle Positions*. International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development, 10(3), 1163–1170.
- [4] Acaroglu, M., & Ozturk, H. H. (2020). A comparative study on impulse and reaction type water turbines. *International Journal of Green Energy*, 17(1), 29–38.
- [5] Gopalakrishnan, T., Kumar, N., & Jothamani, D. (2019). Design and development of micro hydro turbine system for energy generation. *Renewable Energy*, 139, 984–993.
- [6] Zhou, Y., Zhang, Y., & Li, H. (2021). Performance optimization of hydraulic turbines using advanced flow control techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 148, 111256.
- [7] Chaudhry, M. H., Yousaf, M., & Khan, N. (2016). Influence of runner speed on the performance of Pelton turbines. *Hydraulic Machinery Journal*, 23(3), 145–152.
- [8] Ghasemian, A., & Soltani, R. (2018). Parametric study of Pelton turbine bucket geometry using CFD simulation. *Renewable Energy*, 127, 362–370.
- [9] Sharma, R., Verma, P., & Mehta, R. (2021). Effect of deflection angle and shape of Pelton turbine buckets on hydraulic efficiency. *Journal of Mechanical Engineering Research*, 13(2), 89–96.
- [10] Singh, P., & Nestmann, F. (2010). Experimental analysis and redesign of Pelton turbine buckets. *Journal of Hydraulic Research*, 48(1), 120–128.
- [11] Obayes, S. A. S., & Qasim, M. A. K. (2017). Effect of Flow Parameters on Pelton Turbine Performance by Using Different Nozzles. *International Journal of Modeling and Optimization*, 7(3), 127–132.

-
- [12] Qasim, M. A., Velkin, V. I., Shcheklein, S. E., Hanfesh, A. O., Farge, T. Z., & Essa, F. A. (2022). A Numerical Analysis of Fluid Flow and Torque for Hydropower Pelton Turbine Performance Using Computational Fluid Dynamics. *Inventions*, 7(1), 22.
 - [13] Salunkhe, M. N., Khan, Z. A., & Patel, B. R. (2017). Analysis of Cavitation in Pelton Turbine Using CFD. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 7(7), 01–05.
 - [14] Kumar, R., & Prasad, S. (2017). *Design and performance analysis of Pelton turbine*. *International Journal of Renewable Energy Research*, 7(4), 1204-1211.
 - [15] Munson, B. R., Young, D. F., & Okiishi, T. H. (2006). *Fundamentals of fluid mechanics* (5th ed.). John Wiley & Sons.
 - [16] Obayes, S., & Qasim, M. (2017). *Performance analysis of Pelton turbine under varying flow conditions*. *Journal of Hydroelectric Engineering*, 9(3), 192-199
 - [17] Singh, A., & Nestmann, F. (2010). *Optimal performance of Pelton turbines under variable operational conditions*. *Renewable Energy*, 35(9), 2024-2031.
 - [18] Sharma, S., Kumar, R., & Patel, M. (2021). *Experimental study of Pelton turbine performance at different operating conditions*. *Energy Reports*, 7, 45-54. E3