

ANALISIS PENGARUH DEBIT AIR TERHADAP EFISIENSI TURBIN PELTUN DENGAN 32 SUDU PADA PLTMH

Furqan^{1*}, Ferro Aji¹

¹Teknik Mesin Kilang, Politeknik Energi Mineral Akamigas, Jalan Gajah Mada No.38 Cepu, Blora, 58315

*E-mail: furqan01022000@gmail.com

ABSTRAK

Turbin pelton merupakan salah satu turbin berpengerak air. perangkat ini berperan sebagai alat mengubah energi kinetik air menjadi energi mekanis yang kemudian dapat digunakan untuk menghasilkan listrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi debit air terhadap efisiensi turbin pelton dengan jumlah sudu 32. Percobaan dilakukan melalui pengujian dengan berbagai frekuensi dan bukaan valve untuk mengukur daya Listrik yang dihasilkan dan efisiensi turbin dalam berbagai variable debit. Hasil pengujian menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi pada turbin diperoleh pada frekuensi 63 Hz dengan daya sebesar 1,72 Watt dan efisiensi 29,33%. Pada percobaan kedua dengan bukaan valve 100, daya sebesar 7,06 Watt diperoleh dengan efisiensi 40,09%. Dari kedua percobaan ini turbin pelton dengan penggerak pompa konstant dan bukaan valve 100% memiliki efisiensi tertinggi dibanding metode lainnya.

Kata kunci: Turbin air, sudu 32, efisiensi, debit air, daya listrik, frekuensi

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi air sebagai pembangkit listrik telah menjadi salah satu solusi dalam mengatasi permasalahan pasokan energi di Indonesia, terutama pada daerah 3 T (Tertinggal, Terdepan dan Terluar) yang sulit dijangkau oleh jaringan Listrik. Negara ini memiliki potensi tenaga air yang besar dikarenakan banyaknya sumber sumber air seperti Sungai dan air terjun yang tersebar di seluruh Indonesia. Berdasarkan Direktorat Jendral Sumber Daya Air, Indonesia memiliki potensi energi tenaga air mencapai hingga 76.000 MW, namun pemanfaatannya masih sangat rendah [1]. Teknologi ini baru di adopsi oleh beberapa daerah sebagai Langkah awal untuk optimalisasi potensi air, namun penggunaannya belum merata dikarenakan masih dihadapkan pada berbagai tantangan teknis [2].

Tantangan paling umum dalam pengembangan pembangkit penggerak air baik PLTMH maupun PLTA merupakan fluktuasi debit air yang dipengaruhi banyak hal salah satunya faktor cuaca dan musim. Fluktuasi ini sangat mempengaruhi kinerja dari turbin, terutama pada turbin pelton yang bekerja dengan prinsip impuls. Turbin pelton sendiri bekerja dengan mengubah energi kinetik air menjadi energi mekanis melalui pancaran air yang mengarah ke sudu turbin, debit air sendiri sangat mempengaruhi pancaran yang mengarah ke sudu turbin dan mempengaruhi sudu turbin. Pada musim kemarau, debit air pasti berkurang dan mengurangi daya yang dihasilkan, sementara ketika musim hujan debit air yang berlebih mempengaruhi ketidakstabilan dan usia pakai [3].

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh debit air pada sudu 32 terhadap efisiensi turbin, terutama untuk meningkatkan efisiensi sistem pada kondisi aliran yang berbeda. dengan fokus pada upaya mencapai efisiensi maksimal di berbagai kondisi debit [4]. Penggunaan 32 sudu pada turbin Pelton ini dimaksudkan untuk mengoptimalkan konversi energi kinetik dari pancaran air menjadi energi mekanis yang efisien. Dengan mengetahui bagaimana variasi debit air memengaruhi efisiensi turbin, penelitian ini diharapkan dapat

membantu pengembangan strategi desain dan operasional PLTMH dan PLTA yang lebih adaptif terhadap kondisi debit air yang berfluktuasi [5].

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam meningkatkan efisiensi operasional PLTMH dan PLTA di Indonesia. Temuan ini dapat menjadi acuan bagi para perancang dan pengelola PLTMH dalam menentukan konfigurasi dan parameter operasional turbin yang sesuai, sehingga sistem dapat beroperasi secara optimal pada berbagai kondisi aliran.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode deksripsi kuantitatif dengan studi kasus menganalisa dampak dari variasi debit air terhadap efisiensi turbin pelton yang menggunakan 32 sudu. Pendekatan ini dimaksudkan untuk menjelaskan secara mendalam mengenai bagaimana perubahan debit air mempengaruhi kinerja turbin pelton. Metode ini dipilih karena sesuai untuk mengkaji fenomena yang kompleks, seperti dinamika air dan respon turbin pelton terhadap variasi debit.

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini adalah deskriptif kualitatif, yang bertujuan untuk menggambarkan fenomena secara rinci tanpa melakukan intervensi atau manipulasi langsung pada variabel. Fokus penelitian adalah memahami interaksi antara debit air dan sudu turbin, serta dampaknya terhadap efisiensi turbin. Pendekatan ini mendalami keterkaitan antara variasi debit dan efisiensi turbin melalui pengumpulan data lapangan serta kajian literatur. Menurut Yin 2018, metode studi kasus efektif untuk menjawab pertanyaan “bagaimana” dan “mengapa” dalam konteks fenomena kompleks, yang menjadikan pendekatan ini sangat sesuai dengan tujuan penelitian ini.

B. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di unit Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di PEM Akamigas, Indonesia, yang dipilih karena variasi debit air yang dapat dimanipulasi dan menggunakan teknologi turbin Pelton. Penelitian berlangsung dari Januari hingga Juli 2024, untuk memungkinkan observasi yang mendalam.

C. Sumber data

Sumber data ini menggunakan dua jenis sumber data yaitu sumber data primer yang diperoleh langsung pada unit turbin pelton di PLTMH, Wawancara dengan teknisi dan operator, dan observasi lapangan. Kemudian data sekunder diperoleh dari dokumen yang relevan dengan laporan laporan teknis, penelitian sebelumnya dan literatur pendukung. Beberapa referensi utama termasuk penelitian oleh Hermawan et al. (2021), Surya et al. (2022), dan World Bank Group (2021), yang membahas aspek-aspek penting dalam efisiensi turbin air.

D. Teknik Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan didapatkan melalui beberapa metode sebagai berikut [6].:

- Pengukuran Langsung: Pengukuran dilakukan untuk memperoleh data mengenai debit air, tekanan, daya, dan efisiensi turbin pada berbagai variasi debit. Alat-alat yang digunakan termasuk flowmeter, voltmeter, ampere meter dan pressure gauge untuk mengukur putaran turbin.
- Wawancara Semi-Struktural: Wawancara dilakukan dengan teknisi PLTMH berpengalaman, mencakup pertanyaan tentang prosedur operasional standar turbin, tantangan dalam mengoptimalkan efisiensi, dan pengamatan teknisi terhadap pengaruh variasi debit air.

- Observasi Lapangan: Observasi dilakukan selama beberapa siklus operasi untuk mencatat fluktuasi aliran air.
- Dokumentasi: Pengumpulan data dari laporan teknis, desain turbin, dan dokumen relevan lainnya untuk melengkapi data primer dan memberikan gambaran menyeluruh tentang operasi PLTMH.

E. Teknik Analisa Data

Data dianalisis dengan melibatkan analisis statistic yang terfokus pada pengujian, yang meliputi [7] :

- Pengumpulan dan Validasi Data: Data numerik hasil pengukuran langsung divalidasi untuk memastikan akurasi dan konsistensi, sehingga data mentah dapat diperbaiki jika ada kesalahan.
- Pengkodean dan Pengorganisasian data: Data dikodekan dan diorganisasikan dalam tabel atau spreadsheet, untuk memudahkan proses analisis. Setiap variabel diatur sedemikian rupa sehingga analisis statistik dapat dilakukan secara efisien.
- Analisis Varian: karena penelitian ini memiliki beberapa variasi operasi maka dilakukan Analisa varian
- Visualisasi data: Data dianalisis juga dengan visualisasi menggunakan grafik seperti histogram, scatter plot, atau box plot, untuk memperjelas hubungan antar variabel.
- Penarikan Kesimpulan dan Interpretasi: Peneliti menarik kesimpulan mengenai seberapa kuat pengaruh debit air terhadap efisiensi turbin, berdasarkan bukti statistik.
- Uji Validitas dan Reliabilitas: Untuk memastikan validitas dan reliabilitas data dipastikan Kembali dengan mengukur dan memastikan konsistensi hasil penelitian

3. PEMBAHASAN

A. Turbin Pelton

Turbin pelton merupakan mesin penggerak yang merubah energi potensial menjadi mekanik dengan air sebagai fluida kerja. Pada turbin air terdiri dari satu set sudu penggerak yang mana di atur dalam rotasi oleh pancaran air yang dikeluarkan dari satu atau lebih perangkat yang disebut nosel. Prinsip kerja turbin pelton ini adalah mengubah gaya potensial air menjadi gaya mekanis yang mengakibatkan reaksi impuls pada runner turbin yang menyebabkan runner turbin dapat berputar Ketika ada pancaran air yang menyemprot sudu. Air disemprotkan dari nosel mengenai sudu-sudu turbin, dengan itu runner dapat berputar untuk memutar poros turbin yang terhubung ke generator dapat berputar dan menghasilkan daya listrik [8].

B. Kinerja Turbin Pelton

Beberapa parameter yang dihitung untuk menilai efisiensi dari Turbin pelton sebagai berikut:

- **Daya Listrik**

Daya Listrik dihitung untuk mendapatkan nilai seberapa besar daya Listrik yang dihasilkan oleh turbin pelton, untuk mendapatkannya dapat menggunakan persamaan berikut ini [9] :

$$P = V \times I \tag{1}$$

Pengukuran tegangan dan arus ini dilakukan pada titik output generator turbin untuk memastikan daya Listrik yang dihasilkan sesuai dengan kondisi actual selama pengujian

- **Daya Potensial**

Daya potensial air merupakan energi potensial yang terkandung dalam aliran air yang dimanfaatkan untuk menggerakkan sudu turbin, untuk mendapatkan nilainya dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini [10] :

$$P_{pt} = \rho \times g \times Q \times H \quad (2)$$

Pengukuran debit air dilakukan dengan teliti dikarenakan mempengaruhi nilai daya potensial dan berakhir pada efisiensi turbin

- **Effisiensi Turbin pelton**

Effisiensi turbin menunjukkan seberapa efektif turbin dalam mengubah daya potensial air menjadi daya Listrik. Untuk mendapatkan efisiensi dari turbin dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini [11] :

$$n = \frac{P_{eff}}{P_{hid}} \times 100\% \quad (3)$$

C. Persiapan Pengoperasian Turbin Pelton

Sebelum dilaksanakan pengoperasian turbin dapat dilakukan beberapa persiapan seperti yang diuraikan berikut ini:

- **Subjek Penelitian**

Subjek yang diteliti merupakan turbin pelton yang di kopling dengan generator untuk membangkitkan energi Listrik, untuk lebih jelas dapat dilihat gambar di bawah ini:



Gambar 1 Turbin pelton

- **Alat dan bahan**

Berikut ini alat dan bahan yang digunakan selama proses penelitian ini:

Selang air digunakan untuk mengalirkan air masuk ke tabung turbin, Pipa berfungsi untuk meneruskan aliran fluida sampai ke sudut, Generator menghasilkan tenaga listrik, Pressure indicator digunakan untuk mengetahui dan mengendalikan tekanan operasi, Tachometer untuk mengukur putaran mesin, Elbow membantu memblokkkan aliran pipa, Sudu 32 berperan untuk memutar aliran air yang masuk, Globe valve mengatur jalur aliran fluida dalam pipa, Voltmeter digunakan untuk mengukur tegangan listrik, Inverter bertugas mengatur putaran frekuensi, Flowmeter digital digunakan untuk mengetahui aliran listrik, dan Pompa berfungsi untuk memindahkan cairan dari satu tempat ke tempat lain.

- **Instruksi Kerja Pengoperasian Turbin Pelton**

Berikut ini instruksi kerja untuk pengoperasian dan pengambilan data

- pasang sudu 32 dan periksa bahwa semua komponen terpasang dengan benar.
- Input power ke pompa untuk memulai turbin.
- Pastikan semua valve terbuka untuk memungkinkan aliran air yang lancar.
- Atur frekuensi pada inverter sesuai kebutuhan
- Gunakan flowmeter digital untuk mendapatkan data aliran
- Catat tekanan dengan indikator tekanan
- Ukur arus listrik menggunakan multimeter.

- Gunakan tachometer untuk mengukur dan mencatat RPM mesin.
- Monitor dan catat voltase yang dihasilkan selama operasi.

Pastikan setiap langkah dilaksanakan dengan akurat untuk memastikan operasi turbin yang aman dan efisien. Selalu cek setiap alat pengukur dan kondisi turbin sebelum dan sesudah operasi.

D. Analisis Hasil Pengujian

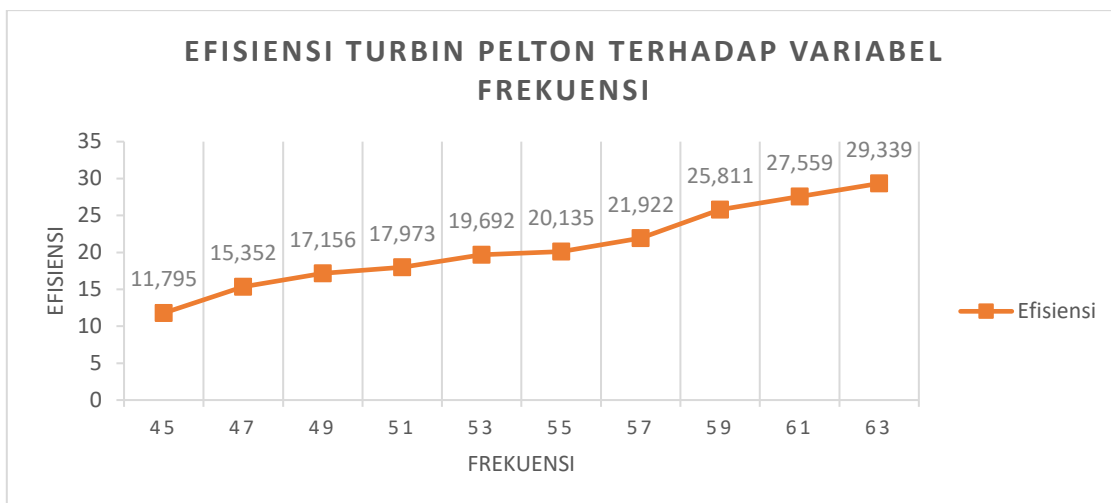
Dari hasil pengoperasian didapatkan data operasi dan dikelola untuk mendapatkan nilai efisiensi dari turbin pelton, dari hasil ini terdapat beberapa hal yang dapat diambil diantaranya:

1. Pada pengujian pertama dilakukan variasi frekuensi terhadap penggerak pompa sehingga turbin mendapatkan efisiensi tertinggi pada frekuensi 63 Hz dengan daya yang dihasilkan sebesar 1,72. Berikut ini Tabel 1 dan Gambar 2 dari pengoperasiannya.

Dari trend dan tabel tersebut, tampak bahwa semakin besar frekuensi yang diberikan oleh penggerak pompa, maka flow air yang masuk ke sudu turbin pelton semakin besar sehingga daya yang dihasilkan semakin besar dan effisiensinya meningkat, namun harus diperhatikan kembali ini merupakan efisiensi dari turbin pelton itu sendiri.

Tabel 1. Data hasil variabel frekuensi

SUDU 32 Pompa Flexibel								
NO	Frekuensi	Flow	Pressure	Putaran Turbin	Tegangan	Arus	daya	efisiensi
	(Herzt)	(gpm)	(kg/cm2)	(Rpm)	(volt)	(Ampere)	watt	%
1	45	0,51	1	166	7,7	0,09	0,69	11,795
2	47	0,54	1	178,6	8,2	0,11	0,9	15,352
3	49	0,56	1,2	181,6	8,4	0,12	1,01	17,156
4	51	0,58	1,2	189,1	8,8	0,12	1,06	17,973
5	53	0,58	1,4	192,9	8,9	0,13	1,16	19,692
6	55	0,6	1,4	194,5	9,1	0,13	1,18	20,135
7	57	0,6	1,4	195,5	9,2	0,14	1,29	21,922
8	59	0,6	1,5	198,6	10,11	0,15	1,52	25,811
9	61	0,6	1,5	199,6	10,12	0,16	1,62	27,559
10	63	0,6	1,6	201,1	10,14	0,17	1,72	29,339

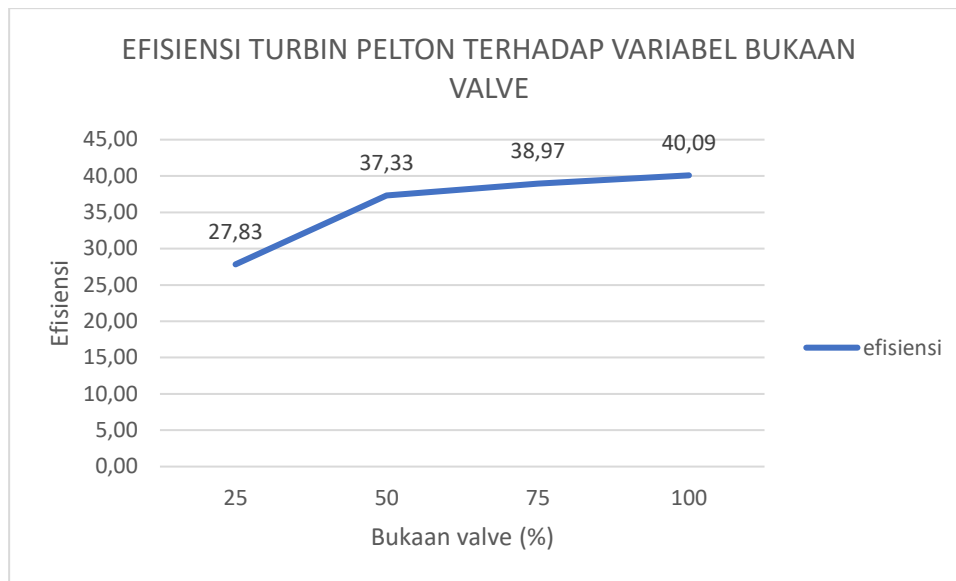


Gambar 2. Grafik Efisiensi Turbin Pelton terhadap variabel frekuensi

2. Pada pengujian kedua dilakukan dengan pompa yang bergerak konstan namun diberikan variable pada bukaan valve outlet pompa dimulai dari 25% hingga 100%. Tabel 2 dan Gambar 3 berikut hasil dari pengujian kedua. Pada pengujian kedua turbin pelton mendapatkan nilai efisiensi tertinggi di bukaan valve 100%. hal ini disebabkan ketika bukaan valve 100% kapasitas air yang mengalir lebih banyak sehingga menghasilkan daya lebih tinggi dan efisiensi yang tinggi.

Tabel 2. Data Hasil Variable Bukaan Valve

SUDU 32 pompa konstan								
NO	Valve	Flow	Pressure	Putaran Turbin	Tegangan	Arus	daya	efisiensi
	%	(gpm)	(kg/cm ²)	(Rpm)	(v)	(mA)	watt	%
1	25	0,4	0,5	133,3	7,11	0,69	4,91	27,83
2	50	0,45	0,8	154,6	7,23	0,91	6,58	37,33
3	75	0,45	0,8	160,7	7,23	0,95	6,87	38,97
4	100	0,45	0,9	166,9	7,21	0,98	7,07	40,09



Gambar 3. Grafik efisiensi turbin pelton terhadap variabel bukaan valve

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi debit air memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi turbin Pelton dengan 32 sudu pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan debit air, hingga titik tertentu, berkontribusi pada peningkatan daya yang dihasilkan dan efisiensi turbin. Efisiensi tertinggi dicapai saat sistem beroperasi dengan bukaan valve 100% dan pompa yang berjalan konstan, menghasilkan daya sebesar 7,06 Watt dan efisiensi hingga 40,09%. Selain itu, penggunaan inverter terbukti efektif dalam mengatur frekuensi dan debit air, yang membantu menjaga kinerja optimal turbin pada berbagai kondisi aliran.

5. Daftar Pustaka

- [1] M. Barus, R. Kurniawan and F. Junaidi, “Respon kinerja turbin pelton dengan diameter nozle aliran tekanan air” 2022.
- [2] M. Bhatia, G.Singh and V. Jain, “Renewable Energy Trends and Future Projections: Insights from Global Trends”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 129, 109915, 2020.
- [3] W. Chen, H Liu and J. Xu, ”Optimization of Micro Hydropower Turbines Using Inverter Technology”, *Energy*, 191, 118562, 2020.
- [4] S. Hidayat and D. Utama, ”Exploring Renewable Energy Policy in Indonesia: Opportunities and Challenges”, *Energy Policy*, 159, 112171, 2022.
- [5] F. Hermawan, H. Sudrajat and R. Prihastomo, “Variasi Debit Air dan Efisiensi Turbin Pelton”, *Journal of Cleaner Production*, 183, 125490, 2021.
- [6] P. Kumar and R. Jain, “Development of Hydropower in Southeast Asia: A Review of Existing Policies and Opportunities, . *Applied Energy*, 242, 115376, 2020.
- [7] H. Li, M. Su and F. Chen, “Numerical Simulation of Water Flow in Pelton Turbines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*”, 142, 110963, 2021.
- [8] R.A. Pamungkas, I.W.A. Wijaya and I.G.N. Janardana, “ Pengaruh debit air terhadap putaran turbin dan daya output yang dihasilkan prototype PLTMH dengan turbin”,2021.
- [9] H. Pradana and Supardi, “ Kaji eksperimen pengaruh debit air dan jumlah sudu terhadap performa turbin pelton mikrohidro”,2023.

- [10] F. Mulyana and Safira, “ Numerical Simulation in Optimizing Pelton Turbines: A Case Study”, *International Journal of Energy Research*, 47(2), 258-270, 2023.
- [11] D. Nugroho, I.Ramdani and A. Putra, “Pelton Turbine Performance in Small Hydro”,2022.

Daftar Simbol

V	: Tegangan (Volt)
I	: Arus Listrik (Ampere)
P_{pt}	: Daya Potensial (Watt)
ρ	: Masa Jenis (kg/m^3)
n	: Efisiensi turbin
P_{eef}	: Daya Potensi
P_{hid}	: Daya Hidrolik
P_{pt}	: Daya Potensial (Watt)
ρ	: Masa Jenis (kg/m^3)
g	: percepatan gravitasi ($9,81 m/s^2$)
Q	: Debit air (m^3/s) didapatkan melalui flowmeter
H	: Tinggi jatuh air atau head (m), diukur dari perbedaan ketinggian antara permukaan air dan turbin
n	: Efisiensi turbin
P_{eef}	: Daya Potensi
P_{hid}	: Daya Hidrolik