

PERFORMANCE EVALUATION OF A PELTON TURBINE WITH FIBERGLASS COMPOSITE BLADES USING THREE NOZZLES IN DIFFERENT POSITIONS

Nasruddin Abdullah¹, Syamsul Bahri Widodo^{2*}, Suheri Suheri³, Rita Syntia⁴, Zainal Arif⁵, Cut Inayah⁶
^{1,2,3,4,5,6} Program Studi Teknik Mesin, Universitas Samudra, Meurandeh, Langsa - Aceh, Kode Pos; 24410

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Dikirim 10 Maret 2024
Direvisi dari 27 Mei 2024
Diterima 30 Mei 2024
Dipublikasikan 30 Juli 2024

Keyword's:

Uji Kinerja;
Turbin Pelton;
Sudu Turbin;
Material Komposit;
FiberGlass.

DOI:

ABSTRAK

Renewable energy utilization has become a primary focus in addressing the negative impacts of fossil fuel usage for electricity needs. One proposed solution is using water flow energy through a Pelton turbine. However, traditional materials used in Pelton turbines, especially metals, have disadvantages such as high inertia and susceptibility to corrosion. In this study, we replaced the Pelton turbine's material with fiberglass composite, which offers lower inertia and better corrosion resistance. This study aims to evaluate the performance of the Pelton turbine using fiberglass composite material. Tests were conducted by connecting the turbine to a generator and installing three adjustable nozzles, divided into seven sections based on the number of nozzles opened. Voltage, current, and electric power were measured using a power meter. The results show that with a load consisting of LED light bulbs, the section with one nozzle open (Section 2) achieved the best power output of 1.11 watts, while the section with two nozzles open (Section 6) achieved the best power output of 1.66 watts. Without load, the highest voltage occurred in Section 2 with one nozzle open at 30.9 volts, while the highest power was recorded in Section 4 with two nozzles open at 31.26 volts.

© 2024 Jurnal Ilmiah JURUTERA. Di kelola oleh Fakultas Teknik. Hak Cipta Dilindungi.

PENDAHULUAN

Saat ini, kebutuhan akan energi listrik telah menjadi esensial dalam kehidupan kita. Contohnya, dalam aktivitas sehari-hari seperti menggunakan handphone, menonton televisi, dan menggunakan laptop, semuanya memerlukan pasokan energi listrik (Pothitou, Hanna, and Chalvatzis 2012). Bahkan, energi listrik telah menggantikan penggunaan perangkat lain yang sebelumnya bergantung pada bahan bakar minyak, seperti mobil, kompor, dan sepeda motor (Castro Verdezoto, Vidoza, and Gallo 2019).

Listrik dihasilkan melalui konversi energi mekanik yang mengandalkan sumber energi umum

seperti minyak bumi dan batu bara, yang merupakan bagian dari energi fosil. Namun, penggunaan energi fosil ini telah menimbulkan masalah lingkungan, seperti efek rumah kaca, dan mengakibatkan konsekuensi yang serius (Mikhaylov et al. 2020; Suheri et al. 2019). Selain itu, sifatnya yang terbatas membuat ketersediaannya semakin menipis seiring berjalannya waktu.

Oleh karena itu, diperlukan penemuan dan penggunaan alternatif energi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan dalam jangka panjang. Salah satu solusinya adalah memanfaatkan energi terbarukan, seperti energi aliran air, yang tidak hanya bersahabat bagi lingkungan tetapi juga memiliki potensi untuk bertahan dan dapat diperbaharui tanpa batas (Baleta et al. 2019).

Energi listrik dapat dihasilkan melalui energi aliran air dengan memanfaatkan sebuah alat yang dikenal sebagai turbin. Turbin bekerja dengan mengubah energi aliran air menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran. Putaran turbin kemudian dikoneksikan dengan generator untuk menghasilkan perbedaan potensial dan mengalirkan arus listrik.

Proses menghasilkan energi listrik dari air melalui turbin umumnya terbagi menjadi dua jenis: turbin impuls dan turbin reaksi. Turbin impuls bekerja dengan memanfaatkan energi kinetik air yang langsung mengenai turbin, sementara turbin reaksi lebih mengandalkan energi potensial air yang terakumulasi (Yildiz and Vrugt 2019). Oleh karena itu, turbin reaksi biasanya lebih besar dan sering kali memerlukan bendungan untuk menampung energi potensial air.

Namun, tidak semua wilayah memiliki aliran air yang cukup besar untuk mendukung penggunaan turbin reaksi. Di daerah-daerah tersebut, turbin Pelton sering menjadi pilihan alternatif. Turbin Pelton hanya memanfaatkan energi kinetik dari air, sehingga lebih cocok untuk daerah dengan aliran air yang lebih kecil (Chitrakar et al. 2020).

Telah dilakukan banyak penelitian dalam mengembangkan turbin Pelton guna mencapai efisiensi yang lebih tinggi. Salah satu faktor kunci dalam kinerja turbin Pelton adalah desain sudu, termasuk bentuk, jumlah, dan bahan material yang digunakan. Beberapa penelitian telah mengeksplorasi berbagai desain sudu turbin Pelton, seperti yang dilakukan oleh Maridjo dan rekan pada tahun 2016, yang mengevaluasi kinerja turbin dengan 17 sudu. Dalam penelitian tersebut, turbin Pelton dengan 17 sudu pada kecepatan putaran 458 rpm menghasilkan daya listrik sebesar 41,38 watt dengan efisiensi turbin mencapai 24,8% (Maridjo 2021). Sementara itu, penelitian lain yang dilakukan oleh Apri Wayuno dan timnya bertujuan untuk memahami kinerja sudu Pelton dengan hanya 9 sudu. Mereka menggunakan transmisi rantai untuk menghubungkan turbin dengan generator guna menghasilkan listrik. Dalam penelitian ini, putaran turbin mencapai 41,7 dengan ketinggian air jatuh 1,5 meter, menghasilkan daya listrik sebesar 0,0792 watt. Penelitian tersebut menggunakan metode eksperimen langsung dengan mengubah bentuk sudu menjadi sudu lengkung (Apri Wiyono, Ghani Heryana, Widodo Rahayu, Aji Putro Prakoso 2018). Namun, kedua penelitian ini memiliki

kelemahan dalam penggunaan material sudu yang masih menggunakan logam, yang cenderung memiliki inersia tinggi dan rentan terhadap korosi. Oleh karena itu, diperlukan material alternatif seperti komposit fiberglass yang memiliki inersia rendah dan tahan terhadap korosi untuk meningkatkan kinerja dan umur pakai turbin Pelton.

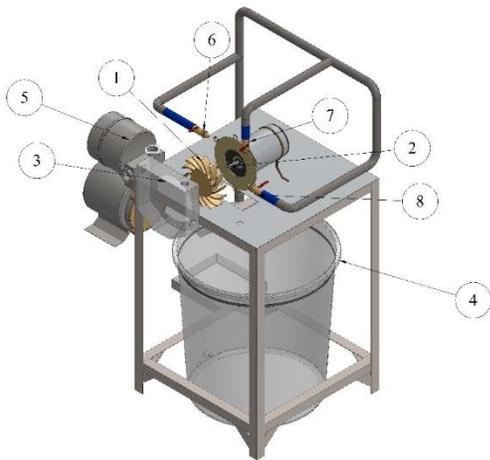
Komposit adalah material yang terbentuk dari perpaduan dua atau lebih bahan untuk menciptakan sifat baru (Adlie et al. 2018; Nagavally 2016; Taufan Arif Adlie, Zainal Arif, Fazri Amir, Samsul Rizal, Nurdin Ali 2018). Fiberglass, salah satu contohnya, digunakan sebagai bahan pembuatan sudu turbin pelton. Penelitian oleh Harisky S. O. melibatkan pengujian kinerja turbin pelton dengan menggunakan fiberglass sebagai bahan komposit. Turbin pelton dengan 13 sudu telah dirancang menggunakan fiberglass, dengan tujuan mengevaluasi daya listrik yang dihasilkan dan kecepatan putaran turbin. Pengukuran dilakukan menggunakan power meter, di mana generator yang terhubung dengan turbin mengubah energi fluida menjadi daya listrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya listrik yang dihasilkan adalah 5,58 watt dengan kecepatan putaran turbin mencapai 590 rpm (Hariski 2020). Selain itu, fiberglass juga digunakan oleh Tarigan A.L. dalam turbin vortex, di mana resin dan tepung talk digunakan sebagai bahan komposit. Penelitian ini bertujuan untuk menguji kinerja turbin vortex dengan menggunakan material komposit untuk mengatasi masalah pasokan listrik dari PLN. Pengukuran melibatkan parameter seperti rpm, torsi turbin, tegangan, arus, dan daya listrik yang dihasilkan. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa turbin vortex mencapai rpm sebesar 171 dengan torsi 646,4 Nm, tegangan 21,49 volt, dan daya 11,57 Watt (Tarigan and Arif 1998). Namun, terdapat kelemahan seperti variasi letak posisi nozzle yang kurang presisi dalam penelitian sebelumnya. Oleh karena itu, penelitian ini akan merancang turbin pelton berbahan fiberglass dengan variasi nozzle vertikal dan horizontal untuk meningkatkan kinerja.

METODE PENELITIAN

Desain Pengujian Turbin Pelton

Gambar 1 adalah sebuah visualisasi desain keseluruhan dari pengujian kinerja turbin pelton

berbahan fiberglass yang dibuat. Desain ini mencakup semua komponen yang terlibat dalam pengujian, mulai dari turbin (nomor 1), poros sambungan turbin ke generator (nomor 2), hingga rumah turbin (nomor 3). Selain itu, gambar ini juga memperlihatkan penampungan fluida kerja (nomor 4), pompa (nomor 5), serta nozzle pertama (nomor 6), kedua (nomor 7), dan ketiga (nomor 8). Generator (nomor 9) juga terlihat jelas dalam desain ini, memberikan gambaran lengkap tentang struktur dan disposisi keseluruhan sistem. Dengan melihat gambar ini, pengguna dapat dengan mudah memahami bagaimana setiap bagian saling berinteraksi dan bagaimana aliran fluida diatur dalam pengujian turbin.

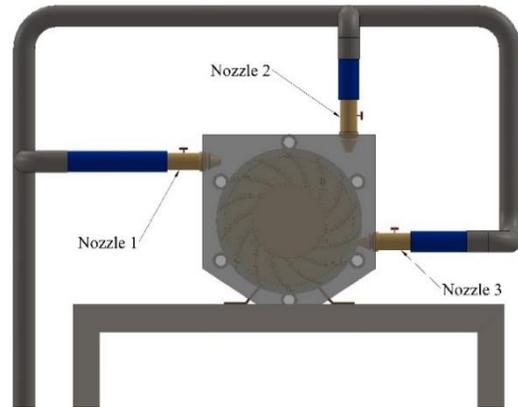


Gambar 1. Desain Prototipe Uji Kinerja Turbin Pelton Berbahan Fiberglass

Dalam penelitian ini, sudut variasi sudu turbin digunakan dengan besar 45 derajat. Terdapat 16 sudu turbin yang dimanfaatkan, sementara jumlah nozzle yang terlibat adalah 3, ditempatkan sesuai dengan gambar 2, yakni di bagian kiri (1), bagian atas (2), dan bagian bawah kanan (3). Pengukuran parameter dilakukan menggunakan alat ukur yang dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Alat Ukur Untuk Pengujian Kinerja Turbin Pelton

No	Komponen	Keterangan
1	Power meter	Menghitung Tegangan dan Kuat Arus
2	Laptop	Alat perekam data



Gambar 2. Peletakan Posisi Nozzle

Parameter Kinerja dan Skematik Pengujian

Kinerja turbin pelton berbahan fiberglass dievaluasi berdasarkan tegangan, arus, daya listrik, dan rpm yang dihasilkan. Tegangan terjadi karena putaran turbin yang terhubung dengan generator, dipengaruhi oleh rpm turbin yang ditentukan oleh aliran fluida dari nozzle. Ini menghasilkan arus dalam kabel yang terhubung ke generator. Daya listrik yang dihasilkan oleh generator dapat dihitung menggunakan persamaan 3.1.

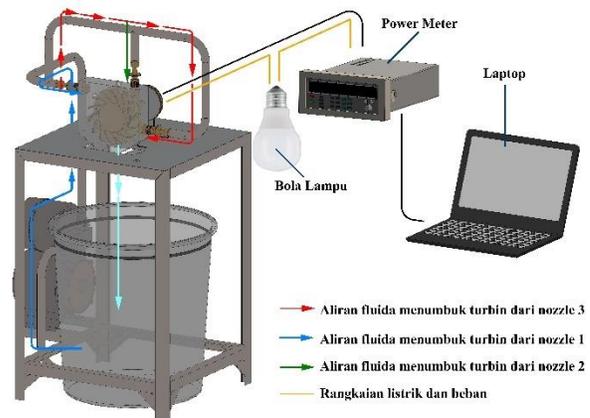
$$P = V . I \dots \dots \dots (1)$$

Ket :

P = Daya listrik (Watt)

V = Tegangan listrik/beda potensial (Volt)

I = Arus listrik (Ampere)



Gambar 3. Skematik Pengujian

Untuk memperoleh data kinerja turbin, dilakukan beberapa langkah pengukuran, termasuk tegangan, arus yang dihasilkan, dan rpm turbin. Langkah-langkah ini melibatkan penggunaan Power Meter Digital seperti yang dapat dilihat pada gambar 3. Pada Gambar 3, terlihat bahwa saat pengujian, generator akan disambungkan ke power meter untuk memperoleh parameter kinerja turbin. Power meter akan mengukur keluaran dari pelton, seperti tegangan dan arus listrik. Untuk menghitung daya listrik, digunakan Persamaan 1. Gambar 2 menunjukkan pengujian dilakukan dengan tiga nozzle yang ditempatkan dalam posisi yang berbeda. Selanjutnya, pada Gambar 3, arah aliran fluida yang menumbuk turbin diwakili oleh tiga garis: garis biru untuk nozzle 1, garis hijau untuk nozzle 2, dan garis merah untuk nozzle 3. Berdasarkan posisi nozzle yang mengeluarkan fluida untuk menumbuk turbin, variasi bagian-bagian nozzle yang dibuka dapat diatur. Informasi lebih lanjut tentang bagian nozzle yang digunakan dapat ditemukan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Variasi Bagian Nozzle

Variasi	Nozzle yang dibuka
Bagian 1	Nozzle 1 (0°)
Bagian 2	Nozzle 2 (90°)
Bagian 3	Nozzle 3 (180°)
Bagian 4	Nozzle 1 dan 2 (360° dan 90°)
Bagian 5	Nozzle 1 dan 3 (360° dan 180°)
Bagian 6	Nozzle 2 dan 3 (90° dan 180°)
Bagian 7	Nozzle 1,2 dan 3 (360°, 90° dan 180°)

Untuk mendapatkan daya, arus harus mengalir di generator. Oleh karena itu, seperti yang terlihat pada Gambar 3, sebuah beban berupa lampu ditambahkan agar arus dapat mengalir. Selanjutnya, pembagian nozzle pada pengujian dengan beban sama seperti yang tercantum dalam Tabel 2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Dari Posisi Nozzle Terhadap Tegangan Listrik Tanpa Beban

Dalam Tabel 3, terlihat bahwa tegangan rata-rata yang diperoleh untuk bagian 1 adalah 20,74 volt, sedangkan rata-rata RPM turbin adalah 686. Sementara itu, arus yang dihasilkan karena tidak adanya hambatan sangat kecil, hanya sekitar 0,001

mA atau bahkan hampir tidak ada. Untuk informasi lebih detail mengenai perbandingan tegangan tiap bagian yang diperoleh pada pengukuran tanpa beban dapat dilihat pada gambar 4 dan 5.

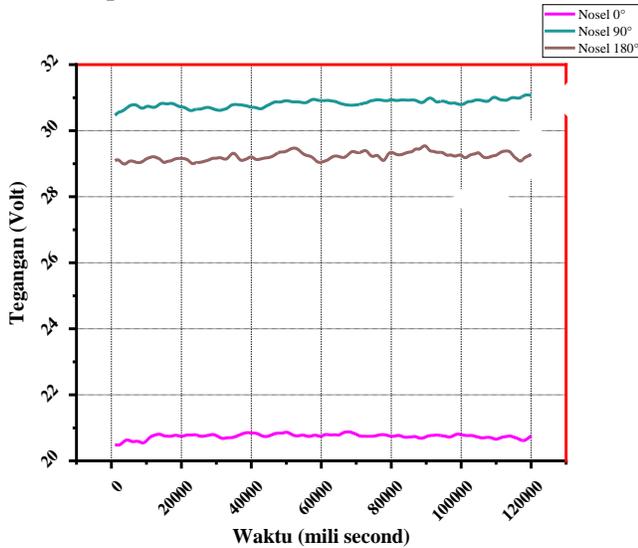
Tabel 3. Besar perolehan rata-rata tegangan dan arus setiap bagian pada pengujian tanpa beban

Variasi Posisi Nozzle	Rata-rata Tegangan (Volt)	Rata-rata Arus (Ampere)	Rata-rata Kecepatan Rotasi Turbin (RPM)
Bagian 1	20,74	0,001	686
Bagian 2	30,9	0,001	1.028
Bagian 3	29,22	0,001	969
Bagian 4	31,26	0,001	1.043
Bagian 5	30,21	0,001	1.004
Bagian 6	26,9	0,001	896
Bagian 7	31,96	0,001	1.040

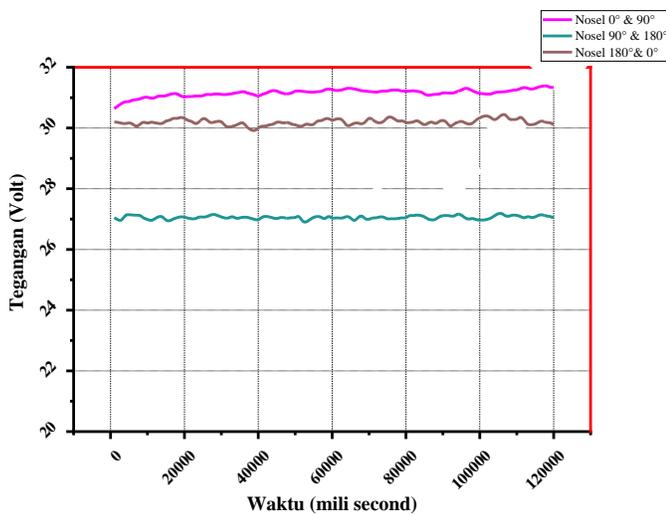
Dalam gambar 4, terlihat perbandingan tegangan tertinggi yang dihasilkan oleh masing-masing nozzle. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nozzle dengan sudut 90° menghasilkan tegangan tertinggi sebesar 31,268 volt dalam rentang waktu sekitar 112,555. Sementara itu, nozzle dengan sudut 0° menghasilkan tegangan terendah sebesar 20,887 volt dalam rentang waktu sekitar 38,124. Perbandingan ini memberikan pemahaman yang jelas mengenai perbedaan kinerja antara nozzle dengan sudut yang berbeda dalam menghasilkan tegangan pada turbin Pelton berbahan fiberglass. Analisis ini memungkinkan para peneliti untuk mengevaluasi efisiensi dan karakteristik operasional turbin dalam berbagai situasi dan kondisi pengujian. Dengan demikian, data yang diperoleh dari pengujian tersebut dapat digunakan sebagai dasar untuk pengembangan dan peningkatan desain turbin di masa mendatang.

Dalam gambar 5, terlihat nilai perbandingan tegangan tertinggi yang dihasilkan dari pengujian gabungan nozzle. Hasil pengujian menunjukkan bahwa gabungan nozzle dengan sudut 0° dan 90° menghasilkan tegangan tertinggi sebesar 31,507 volt dalam rentang waktu sekitar 134,534. Sementara itu, gabungan nozzle dengan sudut 90° dan 180° menghasilkan tegangan terkecil sebesar 25,673 volt dalam rentang waktu sekitar 438. Perbandingan ini memberikan pemahaman yang lebih dalam tentang bagaimana kombinasi nozzle dengan sudut yang

berbeda dapat memengaruhi tegangan yang dihasilkan pada turbin Pelton berbahan fiberglass. Analisis ini memberikan wawasan yang berharga bagi para peneliti untuk memahami interaksi antara nozzle dan dampaknya terhadap kinerja keseluruhan turbin. Dengan mempertimbangkan variasi sudut nozzle, dapat dieksplorasi cara untuk meningkatkan efisiensi dan responsivitas turbin dalam berbagai kondisi operasional.



Gambar 4. Perbandingan Tegangan Yang Dihasilkan Dari Masing-Masing Nozzle Tanpa Menggunakan Beban.



Gambar 5. Perbandingan Tegangan Yang Dihasilkan Dengan Gabungan Antara Nozzle Tanpa Beban.

Pengaruh Dari Posisi Nozzle Terhadap Besar Daya Listrik Dengan Beban

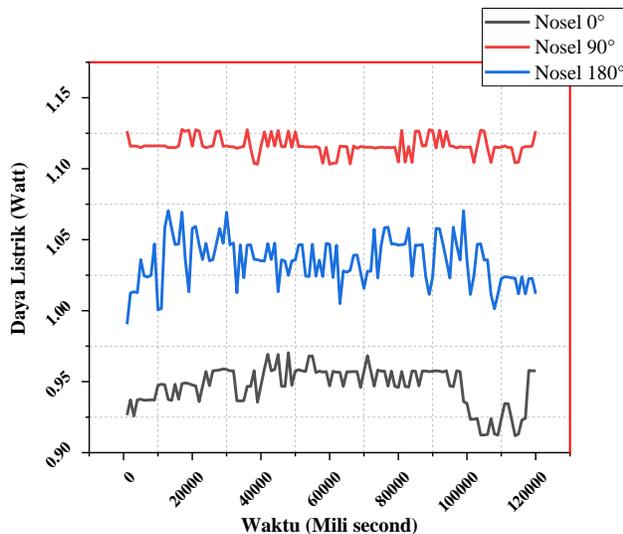
Hasil pengujian yang tercatat dalam Tabel 4 menunjukkan bahwa untuk bagian 1, nilai rata-rata besar tegangan, arus, dan daya yang diperoleh adalah masing-masing sebesar 9,65 volt, 0,97 ampere, dan 0,94 watt. Selain itu, nilai RPM pada turbin yang dihasilkan dengan menggunakan nozzle 1 adalah sebesar 408. Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa tegangan yang diperoleh saat beban diterapkan jauh lebih kecil dibandingkan dengan saat tanpa beban. Hal ini disebabkan oleh hubungan yang terbalik antara arus dan tegangan, di mana semakin besar arus yang mengalir, tegangan akan semakin menurun. Selanjutnya, variasi besar tegangan dan daya dapat dilihat dalam detail melalui Gambar 6 dan 7.

Tabel 4. Besar perolehan rata-rata tegangan, arus, RPM turbin, dan daya untuk setiap bagian pada pengujian dengan beban

Posisi Nozzle	Rata-rata Tegangan (Volt)	Rata-rata Arus (Ampere)	Rata-rata Kecepatan Rotasi Turbin (RPM)	Rata-rata Daya Listrik (Watt)
Bagian 1	9,65	0,97	408	0,94
Bagian 2	9,86	0,11	428	1,11
Bagian 3	9,8	0,10	428	1,00
Bagian 4	9,8	0,12	449	1,26
Bagian 5	10,13	0,13	434	1,36
Bagian 6	10,5	0,15	482	1,66
Bagian 7	10,52	0,15	483	1,67

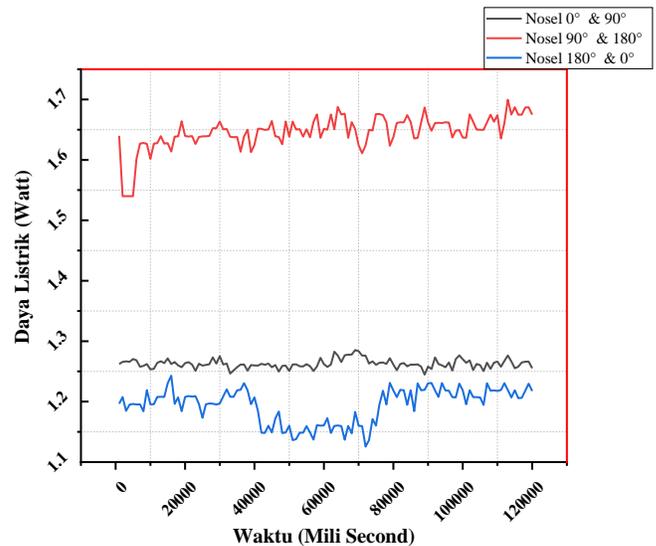
Dengan menerapkan beban pada pengujian, arus dapat mengalir di dalamnya, menghasilkan daya listrik yang menjadi parameter penting dalam mengevaluasi kinerja turbin Pelton. Pengujian dengan beban memungkinkan perolehan data yang lebih representatif tentang kemampuan turbin dalam menghasilkan daya listrik dalam kondisi nyata. Hasil pengujian ini membantu dalam menentukan efisiensi dan responsivitas turbin terhadap beban yang diterapkan, yang merupakan informasi krusial dalam pengembangan dan peningkatan desain turbin. Gambar 6 menampilkan perbandingan daya listrik tertinggi yang dihasilkan dari pengujian menggunakan masing-masing nozzle. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nozzle dengan sudut

90° menghasilkan daya listrik tertinggi sebesar 1.12769 watt dalam rentang waktu sekitar 9.408 mili detik. Sementara itu, nozzle dengan sudut 0° menghasilkan daya listrik terendah sebesar 0.9704 watt dalam rentang waktu sekitar 26.914 mili detik. Analisis ini memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang bagaimana variasi sudut nozzle dapat mempengaruhi daya listrik yang dihasilkan oleh turbin Pelton berbahan fiberglass.



Gambar 6. Perbandingan Daya Yang Dihasilkan Dari Masing-Masing Nozzle Dengan Menggunakan Beban

Dalam gambar 7, terlihat nilai perbandingan daya listrik tertinggi yang dihasilkan dari pengujian dengan gabungan nozzle. Analisis data menunjukkan bahwa gabungan nozzle dengan sudut 0° dan 90° menghasilkan daya listrik terendah sebesar 1.29834 pada kisaran waktu sekitar 94.181 mili detik. Sementara itu, gabungan nozzle dengan sudut 90° dan 180° menghasilkan daya listrik tertinggi sebesar 1.74964 pada kisaran waktu sekitar 93.996 mili detik. Variasi ini memberikan gambaran yang lebih lengkap tentang bagaimana kombinasi nozzle dengan sudut yang berbeda dapat memengaruhi daya listrik yang dihasilkan oleh turbin Pelton berbahan fiberglass.



Gambar 7. Perbandingan Daya Yang Dihasilkan Dari Gabungan Antara Nozzle Dengan Menggunakan Beban.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian eksperimental mengenai kinerja turbin Pelton berbahan fiberglass dalam konteks variasi posisi nozzle, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Tanpa menggunakan beban, turbin Pelton berbahan fiberglass menunjukkan kinerja terbaik pada bagian 2, di mana nozzle tunggal memberikan tegangan terbesar sebesar 30,9 volt. Sementara pada bagian dengan dua nozzle terbuka, bagian 4 menunjukkan kinerja optimal dengan tegangan sebesar 31,26 volt.
2. Dalam kondisi menggunakan beban, turbin berbahan fiberglass menunjukkan kinerja terbaik pada bagian 2 dengan nozzle tunggal, menghasilkan daya sebesar 1,11 watt. Sedangkan pada bagian dengan dua nozzle terbuka, bagian 6 menunjukkan kinerja optimal dengan daya sebesar 1,66 watt.

DAFTAR PUSTAKA

- Adlie, Taufan Arif, Zainal Arif, Fazri Amir, Samsul Rizal, Nurdin Ali, Syifaul Huzni, Sulaiman Thalib, and Suheri Suheri. 2018. 'Pengaruh Beban Tarik Terhadap Variasi Ukuran Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Polymeric Foam'. *Jurutera* 5(01): 9–14. <https://ejournalunsam.id/index.php/jurutera/article/view/708> (March 25, 2019).
- Apri Wiyono, Ghani Heryana, Widodo Rahayu, Aji Putro Prakoso, Ega Taqwali Berman. 2018. 'Karakterisasi Performansi Modifikasi Sudu Dan Variasi Head Total Turbin Pelton 9 Sudu'. *FLYWHEEL: Jurnal Teknik Mesin Untirta* 2(1): 87–90.
- Baleta, Jakov, Hrvoje Mikulčić, Jiří Jaromír Klemeš, Krzysztof Urbaniec, and Neven Duić. 2019. 'Integration of Energy, Water and Environmental Systems for a Sustainable Development'. *Journal of Cleaner Production* 215: 1424–36. doi:10.1016/j.jclepro.2019.01.035.
- Castro Verdezoto, Pedro L., Jorge A. Vidoza, and Waldyr L.R. Gallo. 2019. 'Analysis and Projection of Energy Consumption in Ecuador: Energy Efficiency Policies in the Transportation Sector'. *Energy Policy* 134(August). doi:10.1016/j.enpol.2019.110948.
- Chitrakar, Sailesh, Bjørn Winther Solemslie, Hari Prasad Neopane, and Ole Gunnar Dahlhaug. 2020. 'Review on Numerical Techniques Applied in Impulse Hydro Turbines'. *Renewable Energy* 159: 843–59. doi:10.1016/j.renene.2020.06.058.
- Hariski, Sandi Okky. 2020. 'UJI KINERJA TURBIN PELTON BERBAHAN MATERIAL KOMPOSIT FIBERGLASS TERHADAP VARIASI KEMIRINGAN NOSEL'.
- Maridjo, Maridjo. 2021. 'Studi Perencanaan Turbin Air PLTMH Di Sungai Cilaki'. *Jurnal Teknik Energi* 10(1): 29–35. doi:10.35313/energi.v10i1.2323.
- Mikhaylov, Alexey, Nikita Moiseev, Kirill Aleshin, and Thomas Burkhardt. 2020. 'Global Climate Change and Greenhouse Effect'. *Entrepreneurship and Sustainability Issues* 7(4): 2897–2913. doi:10.9770/jesi.2020.7.4(21).
- Nagavally, Rahul Reddy. 2016. 'Composite Materials - History, Types, Fabrication Techniques, Advantages, and Applications'. *International Journal of Mechanical And Production Engineering* (2): 25–30.
- Pothitou, Mary, Richard F Hanna, and Konstantinos J Chalvatzis. 2012. 'Ict e a ' i d e c' . : 1–36.
- Suheri, Suheri, Suri Purnama Febri, Zainal Arif, and Fazri Amir. 2019. 'Kajian Penggunaan Pembangkit Listrik Photovoltaik Atap Sebagai Upaya Implementasi Green Campus'. *JURUTERA - Jurnal Umum Teknik Terapan* 6(02): 14–18. doi:10.55377/JURUTERA.V6I02.1911.
- Tarigan, Leonardo, and Zainal Arif. 1998. 'RANCANG BANGUN DAN UNJUK KERJA PEMBANGKIT LISTRIK MICROHYDRO (PLTMH) TIPE TURBIN VORTEX SKALA'.
- Taufan Arif Adlie, Zainal Arif, Fazri Amir, Samsul Rizal, Nurdin Ali, Sulaiman Thalib. 2018. 'The Effect of Fiber Size of Oil Palm Empty Fruit Brunches to the Tensile Strength of the Polymeric Foam Composite'. *International Journal of Science and Research (IJSR)* 7(7): 1243–46. https://www.ijsr.net/archive/v7i7/search_paper_id.php (August 31, 2018).
- Yildiz, Veysel, and Jasper A. Vrugt. 2019. 'A Toolbox for the Optimal Design of Run-of-River Hydropower Plants'. *Environmental Modelling and Software* 111: 134–52. doi:10.1016/j.envsoft.2018.08.018.

•TAR