



Pengaruh Variasi Jumlah Dan Kemiringan *Nozzle* Terhadap Kinerja Dan Efisiensi Generator Pada *Prototype* PLTMH

Martina Kuncara ¹, Hisyam Maisya Agni ², Fikri Ulul Albab ³

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Islam Al-Ihya Kuningan,

Jl. Mayasih No. 11, Cigugur - Kuningan, Jawa Barat 45552

Email: martinakuncara1@gmail.com, hisyammaisyaagni@gmail.com,
fikriululalbab01@gmail.com

Abstrak

Pembangkit listrik mikrohidro (PLTMH) merupakan solusi energi terbarukan yang memanfaatkan energi kinetik dan potensial air untuk menggerakkan turbin, yang selanjutnya mengubah energi mekanik menjadi listrik, terutama di wilayah terpencil. Penelitian ini mengkaji secara komprehensif pengaruh gabungan antara jumlah dan sudut kemiringan *nozzle* terhadap daya dan efisiensi generator pada *prototype* PLTMH. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah dan kemiringan *nozzle* terhadap kinerja dan efisiensi generator pada *prototype* PLTMH. menggunakan metode eksperimen yang di mulai dengan merancang *prototype* menggunakan dua buah *nozzle* dan variasi kemiringan 28° dan 30°. Hasil pengujian menunjukkan bahwa konfigurasi *double nozzle* sudut 30° menghasilkan daya tertinggi sebesar 9,94 Watt, sementara konfigurasi *double nozzle* sudut 28° mencapai efisiensi tertinggi sebesar 79,5%. Berdasarkan penelitian tersebut menunjukan bahwa peningkatan jumlah *nozzle* memperbaiki distribusi tekanan air ke sudu, yang meningkatkan torsi dan daya, serta bahwa sudut *nozzle* memengaruhi efisiensi transfer energi dan stabilitas kinerja turbin.

Kata kunci: Pembangkit listrik mikrohidro, *nozzle*, sudut kemiringan; efisiensi energi.

Abstract

Micro-hydropower plants (MHPs) are a renewable energy solution that utilizes the kinetic and potential energy of water to drive a turbine, which then converts mechanical energy into electricity, especially in remote areas. This study comprehensively examines the combined effect of the number and inclination angle of nozzles on the power and generator efficiency of an MHP prototype. The research's objective was to determine how the number and angle of nozzles affect the performance and efficiency of the generator in a prototype MHP. An experimental method was used, beginning with the design of a prototype that featured two nozzles with inclination angles of 28° and 30°. The test results showed that the double-nozzle configuration with a 30° angle produced the highest power output at 9.94 Watts, while the double-nozzle configuration with a 28° angle achieved the highest efficiency at 79.5%. The study concluded that increasing the number of nozzles improves the distribution of water pressure to the turbine blades, which, in turn, increases torque and power. Additionally, the nozzle angle was found to influence the efficiency of energy transfer and the stability of the turbine's performance.

Keywords: Microhydro power plant, nozzle, angle of inclination, energy efficiency.

Pendahuluan

Sumber energi terbarukan saat ini mengalami peningkatan antusiasme masyarakat, khususnya dalam menangani permasalahan kebutuhan listrik pada daerah terpencil yang memiliki keterbatasan akses yang memadai. Sistem pembangkit listrik semakin berkembang ke arah yang lebih ramah lingkungan seperti Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) yang memanfaatkan aliran kecil seperti sungai, selokan dan aliran dengan debit yang kecil. Aliran tersebut ditampung dan di alirkan kepada turbin pembangkit sehingga menghasilkan pembangkitan listrik (Anaza et al., 2021). Efektifitas penggunaan PLTMH sebagai pembangkit listrik tergantung dari konstruksi yang di buat, penggunaan material, jenis turbin dan mekanisme *nozzle* yang digunakan sebagai pendorong turbin dalam membangkitkan listrik (Murtalim et al., 2021).

Studi yang mengkaji mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja PLTMH sudah dilakukan oleh Rahmad (2018) dan, Assauri et al (2017), menemukan bahwa variasi jumlah *nozzle* 1 sampai 3 buah, secara signifikan memengaruhi daya listrik yang dihasilkan pada turbin Pelton. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan tiga *nozzle* menghasilkan daya listrik yang paling optimal yang di akibatkan adanya peningkatan debit aliran fluida dalam sistem. Studi lain oleh Irawan et al (2020) menunjukkan bahwa konfigurasi tiga *nozzle* menghasilkan daya dan efisiensi turbin yang paling tinggi. Selain itu, Sutoyo et al (2023) yang menganalisis pengaruh variasi sudut kemiringan *nozzle* dan menemukan bahwa kinerja maksimal turbin Pelton dicapai pada sudut kemiringan 15° (Sutoyo et al., 2023).

Penelitian yang dilakukan tersebut menunjukkan bahwa penggunaan *nozzle* ganda atau lebih dan konfigurasi kemiringan

memberikan dampak yang signifikan terhadap efisiensi dan kinerja PLTMH. Namun, penelitian tersebut hanya berfokus kepada salah satu faktor seperti jumlah *nozzle* dan kemiringan *nozzle* saja, sehingga penelitian tersebut memiliki celah untuk dilakukan penelitian lebih lanjut.

Penelitian ini akan mengkaji pengaruh variasi jumlah dan kemiringan *nozzle* terhadap kinerja dan efisiensi generator pada PLTMH, sehingga dapat diketahui faktor-faktor lebih mendalam yang menunjukkan efisiensi konfigurasi jumlah dan kemiringan *nozzle* yang paling optimal.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang di mulai dengan merancang *prototype* menggunakan dua buah *nozzle* dan variasi kemiringan 28° dan 30°. Pengujian dilakukan dengan konfigurasi *single* dan *double nozzle* yang menerapkan variasi kemiringan pada setiap *nozzle* yang di uji sehingga terdapat 6 konfigurasi yang disajikan dalam tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1 Konfigurasi jumlah dan kemiringan *nozzle*

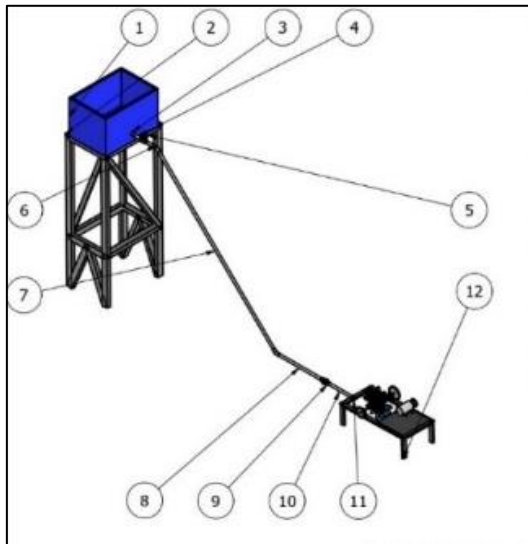
S28	<i>Single</i> sudut 28°
S30	<i>Single</i> sudut 30°
D28-30	<i>Double</i> sudut 28° dan 30°
D30-28	<i>Double</i> sudut 30° dan 28°
D28	<i>Double</i> sudut sama 28°
D30	<i>Double</i> sudut sama 30°

Alat dan Bahan

Prototype PLTMH yang digunakan memiliki spesifikasi yang disajikan pada tabel 2, dan rancangan *prototype* pada gambar 1 sebagai berikut:

Tabel 2 Spesifikasi *Prototype*

Jenis Turbin	Pelton
Titik Jatuh Air	150 cm
Kapasitas	80 liter
Penampungan	
Diameter Pipa	1 inci
Tegangan Generator	220-250 volt



Gambar 1 *Prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Adapun komponen yang terdapat pada *prototype* PLTMH yang digunakan diantaranya (1) *Forebay* sebagai penampungan dengan kapasitas 80liter, (2) Rangka sebagai penopang beban utama, (3) *Socket* sebagai sambungan output dari penampung, (4) *Faucet* sebagai kontrol aliran air, (5) Pipa PVC sebagai saluran utama air, (6) *Elbow* sebagai penghubung yang memiliki kemiringan tertentu, (7) Pipa PVC miring

sebagai penghubung antar *knee*, (8) *Pressure sensor* untuk mengontrol tekanan pada sistem PLTMH, (9) *Flow Meter* untuk mengukur debit aliran, (10) *Coupling* pipa penghubung *nozzle*, (11) *Nozzle* output sistem PLTMH dan (12) Turbin dan generator yang terintegrasi dengan mikrokontroler.

Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian dalam penelitian ini dibagi kedalam dua tahap. Pertama, pengujian debit air dilakukan untuk menentukan volume air yang melewati penampang pipa per satuan waktu (Haidi, 2016).

Pengukuran ini dilakukan dengan metode kecepatan-penampang sebagai berikut.

$$Q = A \times V \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

Q = Debit (m³/s)

A = Luas Penampang (m²)

V = Volume (m³)

Kedua, pengujian daya generator dilaksanakan untuk mengukur energi listrik pada jumlah dan kemiringan *nozzle* berbeda sebagai berikut.

$$P = V \times I \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

P = Daya listrik (watt)

V = Tegangan (v)

I = Arus (A)

Perhitungan

Beberapa perhitungan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai penunjang dalam analisis sebagai berikut.

Perhitungan daya hidrolis pada sistem (Rashi, 2024), dilakukan menggunakan persamaan

$$P_{hidrolis} = \rho \times Q \times g \times H \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

ρ = Massa Jenis (kg/m^3)

Q = Debit air (m^3/s)

g = Gaya gravitasi (m/s^2)

H = Tinggi jatuh air (m)

Efisiensi generator dilakukan untuk mengetahui perbandingan daya keluaran dengan daya masuk mekanik (Nursalim et al., 2025), menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

η = Efisiensi generator

P_{in} = Daya listrik (watt)

P_{out} = Daya mekanik (watt)

Stabilitas performa sistem dievaluasi menggunakan koefisien varian (KV) (Saputra & Rahmadian, 2023), menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$KV = \frac{Xi}{Std.Dev} \times 100\% \dots\dots\dots(5)$$

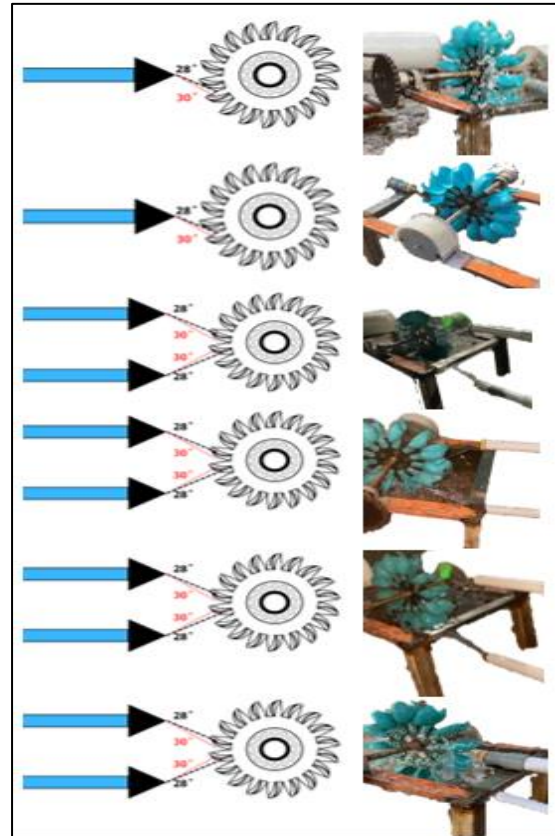
Keterangan:

Xi = Rata-rata

$Std.Dev$ = Standar Deviasi

Hasil dan Pembahasan

Pengujian terhadap *prototype* PLTMH telah berhasil dilakukan dengan melakukan konfigurasi yang ditunjukkan pada gambar 2 dan mendapatkan hasil analisis sebagai berikut.



Gambar 2 Konfigurasi jumlah dan kemiringan

Pengaruh Jumlah dan Kemiringan Nozzle Terhadap Daya Generator

Berdasarkan tabel 3 yang merupakan hasil pengujian menunjukkan bahwa konfigurasi *double nozzle* dengan sudut 30° menghasilkan daya rata-rata tertinggi sebesar 9,94 Watt, diikuti oleh *double nozzle* sudut 28° dengan 8,92 Watt.

Tabel 3 Hasil Pengujian jumlah dan kemiringan terhadap daya generator

No	Jumlah Nozzle	Angle (°)	Jumlah Pengujian	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)
1	1	S 28°	6	18,97	0,38	7,30
2	1	S 30°	6	19,28	0,38	7,49
3	2	D 28-30°	6	20,87	0,40	8,43
4	2	D 30-28°	6	22,51	0,42	9,47
5	2	D 28°	6	21,71	0,41	8,92
6	2	D 30°	6	23,20	0,42	9,94

Performa ini jauh lebih tinggi dibandingkan konfigurasi *single nozzle* yang hanya menghasilkan daya sekitar 7,30 hingga 7,49 Watt. Hal ini menguatkan teori bahwa penambahan jumlah *nozzle* meningkatkan luas penampang aliran dan distribusi gaya yang lebih merata ke sudu-sudu turbin, sehingga menghasilkan torsi yang lebih besar. Selain jumlah *nozzle*, sudut kemiringan juga memainkan peran penting. Meskipun pada konfigurasi *single nozzle*, perbedaan sudut 28° dan 30° hanya menghasilkan peningkatan daya yang minimal antara 7,30 Watt dan 7,49 Watt, dampaknya menjadi sangat signifikan pada konfigurasi *double nozzle*.

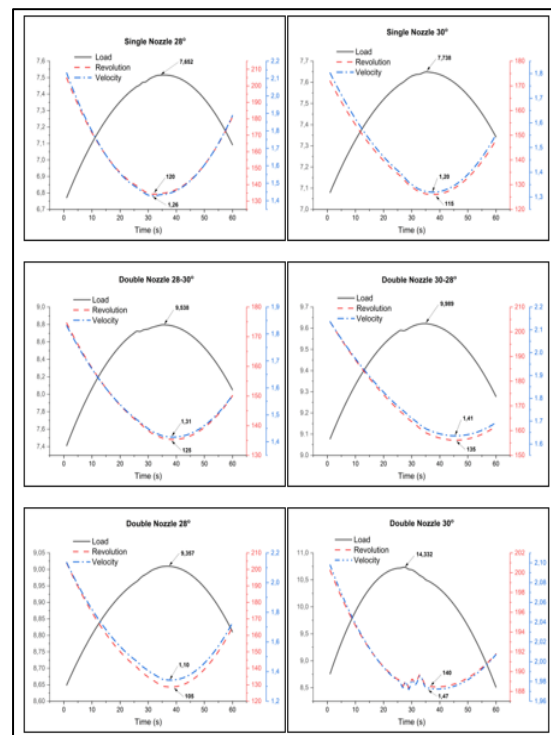
Hal ini menunjukkan bahwa keuntungan dari sudut kemiringan yang lebih lebar menjadi lebih efektif ketika distribusi gaya dari *double nozzle* dapat mencakup area sudu secara lebih luas. Sesuai dengan teori jet impuls oleh Vladimirov (1977), semakin besar momentum yang ditransmisikan, semakin besar pula gaya yang dihasilkan, dan dalam hal ini, momentum tersebut dioptimalkan oleh kombinasi jumlah dan sudut *nozzle* yang tepat. Temuan ini sejalan dengan penelitian Irawan et al. (2020) dan Yasa (2022) yang juga menemukan hubungan yang positif antara jumlah dan sudut *nozzle* dengan daya keluaran turbin

Pengaruh Beban Terhadap RPM dan Kecepatan Turbin

Pengujian beban dilakukan untuk menunjukkan bagaimana setiap konfigurasi *nozzle* merespons daya keluaran yang diterapkan pada generator. Peningkatan beban menyebabkan penurunan putaran (RPM) dan kecepatan turbin, sebuah fenomena yang konsisten di semua variasi pengujian. Hal ini disebabkan oleh peningkatan tahanan mekanis (torsi balik) yang harus diatasi oleh turbin seiring dengan

naiknya beban listrik seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.

Namun, kemampuan setiap konfigurasi untuk mempertahankan kecepatan putar di bawah beban bervariasi secara signifikan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa konfigurasi *double nozzle* sudut 30° mampu mempertahankan kecepatan turbin tertinggi dengan RPM mencapai 140 dan kecepatan aliran 1,47 m/s, bahkan pada beban maksimum 14,33 Watt.



Gambar 3 Pengaruh beban terhadap rpm

Kemampuan ini menunjukkan bahwa konfigurasi tersebut menghasilkan torsi mekanis paling kuat, yang memungkinkan turbin untuk secara efektif mengatasi torsi balik yang dihasilkan oleh generator. Fenomena ini selaras dengan teori elektromagnetik generator, yang menjelaskan bahwa torsi balik akibat beban meningkat seiring dengan naiknya beban, sehingga *nozzle* yang optimal sangat penting untuk mempertahankan RPM yang stabil (Chapman, 2012). Hasil ini juga mendukung temuan Lestariningsih et al. (2024) yang mengaitkan

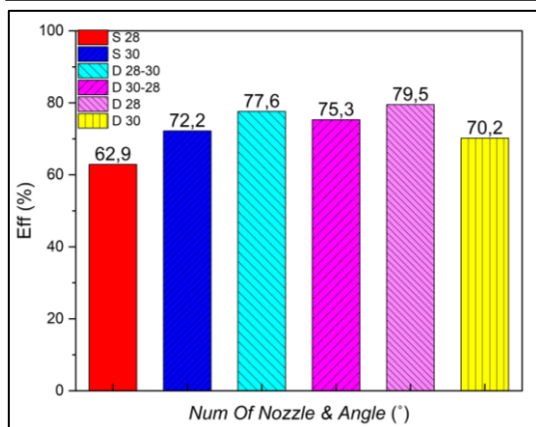
peningkatan RPM dengan peningkatan daya yang dihasilkan.

Efisiensi Generator yang Dihasilkan

Efisiensi generator memberikan gambaran tentang kinerja sistem. Berdasarkan data yang disajikan dalam tabel 4 dan gambar 4, efisiensi generator tertinggi tidak dihasilkan oleh konfigurasi yang memberikan daya maksimum.

Tabel 4 Efisiensi Generator

No	Variasi	Daya Hidrolis (Watt)	Daya Listrik (Watt)	Efisiensi (Watt)
1	S 28°	11,602	7,302	62,9
2	S 30°	10,364	7,486	72,2
3	D 28-30°	10,858	8,426	77,6
4	D 30-28°	12,575	9,465	75,3
5	D 28°	14,162	8,922	79,5
6	D 30°	14,162	9,944	70,2



Gambar 4 Efisiensi Daya Generator

Meskipun konfigurasi *double nozzle* sudut 30° menghasilkan daya listrik tertinggi, konfigurasi ini hanya mencapai efisiensi sebesar 70,2%. Sebaliknya, konfigurasi *double nozzle* sudut 28°, yang menghasilkan daya sedikit lebih rendah, justru mencapai efisiensi tertinggi sebesar 79,5%.

Perbedaan ini menunjukkan adanya kehilangan efisiensi antara memaksimalkan daya keluaran dan mengoptimalkan efisiensi energi. Meskipun sudut 30° dapat menciptakan semburan yang lebih bertenaga dan memungkinkan menghasilkan turbulensi atau percikan yang lebih besar, yang mengakibatkan hilangnya energi dan

penurunan efisiensi. Sebaliknya, sudut 28° tampaknya menghasilkan semburan yang lebih terfokus dan stabil, yang mampu mentransfer energi yang lebih tinggi ke sudu turbin, menghasilkan efisiensi yang lebih baik.

Pengujian Koefisien Varian

Untuk menganalisis stabilitas performa, dilakukan perhitungan koefisien variasi (KV) pada tabel 5 yang menunjukkan seberapa besar fluktuasi data terhadap nilai rata-ratanya.

Tabel 5 Pengujian Koefisien Varian

Variasi (°)	Std. Dev	Rata-Rata (Watt)	KV/KF (%)
S 28	0,22	7,30	3,02
S 30	0,17	7,49	2,26
D 28-30	0,44	8,43	5,17
D 30-28	0,19	9,47	2,04
D 28	0,14	8,92	1,60
D 30	1,26	9,94	12,72

Konfigurasi *double nozzle* sudut 30°, meskipun menghasilkan daya rata-rata tertinggi (9,94 Watt), menunjukkan standar deviasi terbesar (1,26) dan koefisien variasi tertinggi (12,72%). Angka ini mengindikasikan bahwa performanya cenderung tidak stabil dan mengalami fluktuasi yang signifikan selama pengujian. Sebaliknya, konfigurasi *double nozzle* sudut 28°, yang memiliki efisiensi tertinggi, juga menunjukkan stabilitas performa terbaik dengan standar deviasi terendah (0,14) dan koefisien variasi paling kecil (1,60%).

Konfigurasi *double nozzle* sudut 28°, dengan efisiensi dan stabilitas yang baik, menjadi pilihan yang lebih praktis untuk aplikasi di mana keandalan operasional lebih diprioritaskan daripada sekadar mencapai daya puncak. Hasil ini juga memberikan pemahaman baru tentang karakteristik

dinamis turbin, di mana konfigurasi tertentu dapat menghasilkan respon kecepatan yang lebih variatif, yang dapat meningkatkan performa dalam kondisi spesifik tetapi juga menyebabkan fluktuasi yang lebih besar.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa variasi jumlah dan sudut kemiringan *nozzle* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kinerja *prototype* pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Peningkatan jumlah *nozzle* dari satu menjadi dua secara konsisten meningkatkan distribusi tekanan air ke sudu-sudu turbin, yang berdampak langsung pada peningkatan torsi dan daya keluaran generator.

Studi ini juga berhasil mengidentifikasi adanya kehilangan efisiensi penting antara daya maksimum, efisiensi, dan stabilitas operasional.

Bibliografi

- Assauri et al., 2017. (2017). Pengaruh Variasi Jumlah *Nozzle* Terhadap Daya Listrik Yang Dihasilkan Pada *Prototype* Turbin Pelton. *Teknik Mesin*, 1–5.
- Anaza, S. O., Abdulazeez, M. S., Yisah, Y. A., Yusuf, Y. O., & Salawu, B. U. (2021). *Micro Hydro-Electric Energy Generation-An Overview American Journal of Engineering Research (AJER) Open Access Micro Hydro-Electric Energy Generation- An Overview. January 2017*, 4–12.
- Ayoib, C. A., & Nosakhare, P. O. (2015). Directors culture and environmental
- Chapman. (2012). *Electric Machinery Fundamentals..*
- Cheema, K. M. (2012). Electrical Power and Energy Systems. *Advanced Materials Research*, 516–517.
- Cooksey, R. W. (2020). *Descriptive Statistics for Summarising Data BT - Illustrating*

Statistical Procedures: Finding Meaning in Quantitative Data. Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2537-7_5.

- Haidi. (2016). Kajian Potensi PLTMH di Sungai Simpang Saot Desa Pampang Harapan Kecamatan Sukadana Kabupaten Kayong Utara. 2, 7–31.
- Irawan, D., Nugroho, E., & Widiyanto, E. (2020). Pengaruh jumlah *nozzle* terhadap kinerja turbin pelton sebagai pembangkit listrik di Desa Sumber Agung Kecamatan Suoh Kabupaten Lampung Barat. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 9(2), 265–269. <https://doi.org/10.24127/trb.v9i2.1434>.
- Lestariningsih, W., Teknik, F., Maarif, U., & Latif, H. (2024). Analisa Pengaruh Variasi Rpm Terhadap Sudu-Sudu Pada. 7, 46–49.
- Murtalim et al., 2021. (2021). Optimasi Jumlah, Posisi, Dan Diameter Nozel Turbin Pelton Melalui Analisis Qfd Dan Uji Eksperimental. *Buana Ilmu*, 6(1), 216–230. <https://doi.org/10.36805/bi.v6i1.2091>.
- Nursalim, A. A., Albab, F. U. A. F. U., Alhadid, N. A., & Lestari, S. D. (2025). Pengaruh Sudut *Nozzle* Terhadap Daya Turbin Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Skala Praktikum. *Jurnal Fakultas Teknik Kuningan*, 6(1), 1–7.
- Pyzdek, T. (2021). Descriptive Statistics. In *Management for Professionals: Vol. Part F458* (pp. 145–149). https://doi.org/10.1007/978-3-030-69901-7_12.
- Rahmad. (2018). Pengaruh Jumlah *Nozzle* Pada Turbin Pelton. 1–12.
- Rashi. (2024). Micro-Hydro Power- Harnessing the Potential Energy of Water for Small-Scale Electricity

- Generation. *International Journal of Research and Review in Applied Science, Humanities, and Technology*, August, 13–17. <https://doi.org/10.71143/4p12n447>.
- Saputra, R. A., & Rahmadian, R. (2023). Pengaruh Variasi Ukuran Sudu Setengah Lingkaran Terhadap Kecepatan Putaran Turbin Air Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. *Jurnal Teknik Elektro*, 12(2), 55–64. <https://doi.org/10.26740/jte.v12n2.p55-64>.
- Sutoyo, E., Hartono, B., & Hermawan, Y. (2023). Analisis Pengaruh Variasi Sudut Kemiringan Nozzle Terhadap Daya Turbin Pelton Skala Laboratorium. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 9(1), 2023.
- Vladimirov, V. A. (1977). Vortical momentum of flows of an incompressible liquid. *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*, 18(6), 791–794. (<https://doi.org/10.1007/BF00851152>).
- Yasa, B. S. (2022). Pengaruh Variasi Sudut Nozzle Terhadap Kecepatan Putar Turbin Dan Daya Output Pada Prototype Pltmh Menggunakan Turbin Turgo. *Jurnal SPEKTRUM*, 9(2), 112. <https://doi.org/10.24843/spektrum.2022.v09.i02.p13>.