

Pengaruh Diameter dan Sudut Sudu Turbin Impuls Sederhana Menggunakan Elbow PVC

Alexius Leonardo Johanis^{*1}, Hero Preasly Dida², Zakaria Riwu Lay³

¹Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Kupang

JL. Adisucipto, Penfui, Kota kupang

²Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Kupang

JL. Adisucipto, Penfui, Kota kupang

³Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Kupang

JL. Adisucipto, Penfui, Kota kupang

*Corresponding author: alexjohanis160805@gmail.com

Abstract

This research is motivated by the high initial investment costs associated with micro-hydro power plant development in remote areas, necessitating an alternative turbine component that is cost-effective and readily available. The objective of this study is to analyze the effect of blade diameter and blade angle variations of a PVC elbow-type impulse turbine on turbine efficiency and performance. The method employed was a laboratory-scale experiment involving variations in blade diameter (22 mm, 26 mm, 32 mm) and blade installation angle (-15°, 0°, +15°). Testing was conducted by simulating head and flow rate using a pump to measure shaft rotation (RPM), torque, and mechanical power. The results indicate that blade dimensions significantly affect water jet capture, with the 1-inch (32 mm) PVC elbow generating the highest no-load rotation. However, in terms of power efficiency, the use of a ½-inch PVC elbow with a 15° installation angle proved to deliver the optimal performance, achieving a hydraulic efficiency of 46.38%. These findings suggest that the modified PVC elbow is a viable alternative for pico-scale turbine blades when optimized with the correct angle configuration.

Keywords: Microhydro; Impulse; Turbine blade; PVC elbow, Energy Efficiency.

Abstrak

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh kendala tingginya biaya investasi awal pada pengembangan pembangkit listrik mikrohidro di daerah terpencil, sehingga diperlukan alternatif komponen turbin yang murah dan mudah didapat. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh variasi diameter dan sudut kemiringan sudu turbin impuls tipe elbow PVC terhadap efisiensi dan kinerja turbin. Metode yang digunakan adalah eksperimen skala laboratorium dengan memvariasikan diameter sudu (22 mm, 26 mm, 32 mm) dan sudut pasang sudu (-15°, 0°, +15°). Pengujian dilakukan dengan mensimulasikan head dan debit air menggunakan pompa untuk mengukur putaran poros (RPM), torsi, dan daya mekanik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dimensi sudu mempengaruhi tangkapan jet air, di mana elbow PVC Ø 1 inci (32 mm) menghasilkan putaran tanpa beban tertinggi. Namun, dari segi efisiensi daya, penggunaan elbow PVC Ø ½ inci dengan sudut kemiringan 15° terbukti memberikan performa terbaik dengan efisiensi hidrolis mencapai 46,38%. Temuan ini mengindikasikan bahwa modifikasi elbow PVC layak digunakan sebagai alternatif sudu turbin skala piko dengan optimasi sudut yang tepat.

Kata kunci: Mikrohidro; Impuls ; sudu turbin; elbow pvc, Efisiensi Energi

1. Pendahuluan

Pemanfaatan Energi Baru Terbarukan (EBT) menjadi prioritas nasional seiring dengan komitmen Indonesia dalam *Paris Agreement* 2015 untuk mengurangi emisi karbon dan mencapai target bauran energi 23% pada tahun 2025 [1], Herman [2] mengatakan bahwa capaian Target Bauran EBT di 2025 baru separuh jalan.

Potensi pembangkit listrik tenaga air

di seluruh Indonesia dengan total perkiraan 75.000 MW. Namun, hanya sekitar 9% dari potensi yang dieksploitasi dalam bentuk pembangkit listrik. [3] dan Likadja [4], mencatat pertumbuhan kebutuhan energi di NTT mencapai rata-rata 10,52% per tahun, yang mendesak perlunya solusi elektrifikasi mandiri bagi desa-desa terpencil yang tidak terjangkau jaringan PLN.

Tilahun [5] telah melakukan investigasi analitik mengenai turbin untuk mini hydro power yang diaplikasikan pada

daerah terpencil, sedangkan Ricardo dkk [6] menyimpulkan bahwa Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) sangat memungkinkan untuk diterapkan pada daerah-daerah terpencil di Flores dan NTT umumnya.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) seringkali terkendala tingginya biaya investasi (*High Initial Cost*), terutama pada komponen mekanikal seperti turbin (*runner*). Beberapa penelitian sebelumnya telah mencoba menekan biaya ini dengan menggunakan material alternatif, Rancang Bangun Purwarupa Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro Jenis Turbin Turgo telah dilakukan Huda dkk[7], sementara Sahid dkk [8] berhasil menggunakan pipa PVC untuk turbin Pelton dengan efisiensi 91,88%.

Dwi Irawan dkk, melakukan penelitian tentang adanya pengaruh jumlah Nozzle terhadap kinerja turbin Pelton.[9]

Dari penelitian yang sudah dilakukan dapat menyimpulkan bahwa bentuk penampang sudu-sudu turbin mempengaruhi perubahan energi potensial, tekanan, dan kecepatan air menjadi energi kinetik pada turbin [10].

Dari hasil penelitian Mafrudin [11] diketahui bahwa jumlah sudu dan diameter nozzle berpengaruh terhadap daya turbin

Ujiburrham dkk [12] menyimpulkan adanya pengaruh variasi lebar sudu mangkok terhadap kinerja Turbin Kinetik Poros Vertikal.

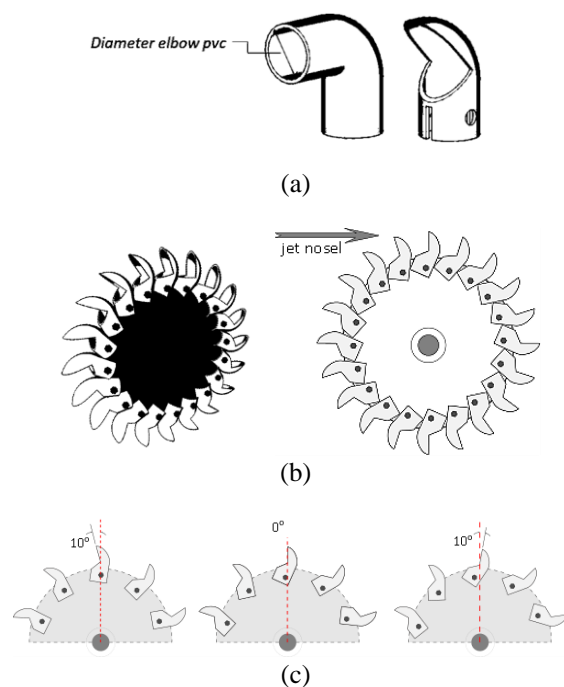
Sementara A. Yani dkk [13] meneliti pengaruh bentuk sudu terhadap torsi. Secara teoritis, kinerja turbin impuls sangat dipengaruhi oleh perubahan momentum fluida yang menumbuk sudu. Persamaan Euler menunjukkan bahwa daya turbin berbanding lurus dengan perubahan kecepatan tangensial fluida saat masuk dan keluar sudu. Oleh karena itu, geometri mangkok (*bucket*) dan sudut tembak jet menjadi parameter kritis.

Kinerja turbin pelton juga dipengaruhi oleh jumlah sudu mangkok pada rotor turbin [14].

Meskipun penggunaan material PVC telah diteliti, belum ada studi mendalam mengenai karakteristik sudu yang dibuat dari modifikasi fitting elbow pipa PVC, khususnya terkait pengaruh diameter lengkungan dan sudut pasangannya terhadap konversi energi. Penggunaan elbow menawarkan geometri lengkung alami yang dapat membelokkan aliran air, namun efektivitasnya perlu diuji. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk:

- Mengetahui pengaruh variasi diameter sudu elbow PVC terhadap kecepatan putar poros turbin.
- Menganalisis dampak perubahan sudut pasang sudu terhadap torsi dan efisiensi turbin.
- Menentukan konfigurasi diameter dan sudut sudu yang menghasilkan kinerja paling optimal pada model turbin impuls sederhana.

2. Metode Penelitian

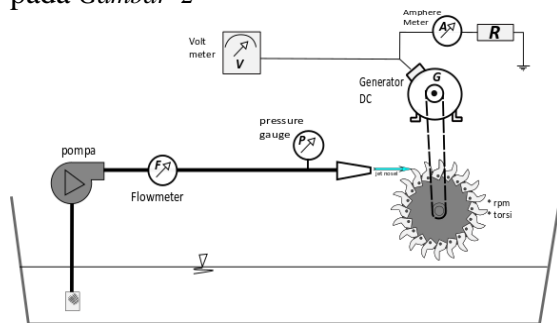


Gambar 1. (a) Modifikasi Long elbow PVC, (b) model runner turbin (c) kemiringan sudu turbin

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen langsung pada model turbin pelton dengan konstruksi mangkok (*bucket*) pada roda jalan (*runner*)

menggunakan long elbow pvc yang dimodifikasi menyerupai konstruksi bucket sudu turbin pelton seperti pada Gambar 1.

Pengujian model turbin serta komponen lain yang dibutuhkan dalam penelitian ini dibuat di Laboratorium Konversi Energi Politeknik Negeri Kupang, dengan memodelkan sumber air yang digantikan pompa pada head tertentu. Adapaun skema aparatus pengujian seperti pada Gambar 2



Gambar 2. Aparatus Pengujian

Beberapa persamaan yang diadopsi dari perancangan turbin pelton mikro [15] sebagai berikut ;

Daya Air (Teoritis)

$$P_w = Q \cdot g \cdot H \dots\dots (Kw) \quad (1)$$

Daya Turbin

$$P_t = Q \cdot g \cdot H \cdot \eta \dots\dots (Kw) \quad (2)$$

Daya mekanik poros

$$P_m = (T \cdot N) / 9550 \dots\dots (Kw) \quad (3)$$

Efisiensi Turbin

$$\eta = P_t / P_w \quad (4)$$

Kecepatan keliling runner

$$U_1 = K_u (2 \cdot g \cdot H)^{\frac{1}{2}} \dots\dots (m/s) \quad (5)$$

Diameter luar runner

$$D_o = D + 1.2 h \dots\dots (m) \quad (6)$$

Diameter tusuk

$$D = \frac{60 \cdot U_1 \cdot i}{\pi \cdot n_G} \quad (7)$$

Kecepatan jet nosel

$$c_1 = k_c \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (8)$$

Jumlah sudu

$$z = \frac{\pi \cdot D}{2d} + 15 \quad (9)$$

Diameter jet optimal

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot c_1}} \quad (10)$$

Di mana n_G = putaran poros generator listrik; i = perbandingan putaran poros turbin dan poros generator, k_c = koefisien nosel

(0.96 – 0.98) dan k_c = koefisien nosel (0.96 – 0.98).

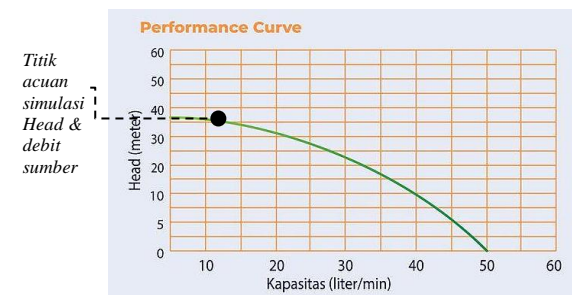
2.1 Perancangan Dimensi dan Parameter Pengujian

Spesifikasi Pompa sebagai sumber debit dan head untuk menggerakkan model turbin seperti pada Tabel 1. Spesifikasi Pompa yang digunakan dalam pengujian

Dari data *performance curve* pompa pada Gambar 3 diperoleh titik acuan simulasi head & debit pengujian.

Tabel 1. Spesifikasi Pompa yang digunakan dalam pengujian

No	Spesifikasi Pompa	Nilai
1.	Daya Output	200 W
2.	Daya Input	0.55 kW
3.	Daya Hisap Max	9 m
4.	Total Head Max	36 m
6.	Kapasitas Max	50 L/min



Gambar 3. Performance Curve pompa

Penentuan diameter *runner* turbin menggunakan Pers. 7 ;

$$K_u = 0.48 \text{ (ambil nilai tertinggi)}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$H = 35 \text{ m (dari kurva pompa)}$$

$$u_1 = 12.57 \text{ m/s}$$

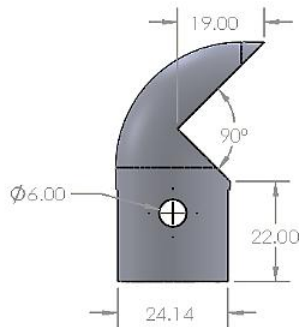
$$i = 1$$

$$n_G = 700 \text{ rpm (putaran poros generator DC)}$$

$$D = 34.31 \text{ cm}$$

Digunakan Elbow PVC berukuran 1/2, 3/4, dan 1 inchi yang dimodifikasi dengan dimensi seperti pada Gambar 4.

Pengujian dilakukan pada variasi diameter sudu untuk mendapatkan ukuran diameter yang memberikan performa terbaik, kemudian dilanjutkan dengan mevariasikan sudut sudu untuk mengetahui pengaruhnya terhadap performa turbin.



Gambar 4. Dimensi Sudu turbin 3/4 inchi

Dilakukan pengukuran debit dan tekanan kerja pada saat pengujian untuk memperhitungkan daya teoritis menggunakan Pers. 1. Tekanan kerja dibandingkan dengan kurva pompa untuk perkiraan *headloss* dalam pipa.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian setiap variasi sudut dengan mengukur putaran poros turbin sebelum pembebanan (N_1) dan sesudah pembebanan (N_2) yang dilakukan dengan menghubungkan poros turbin ke poros Generator DC kemudian dilakukan juga pengukuran tegangan yang dihasilkan generator pada setiap variasi.

Iterasi Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali untuk setiap variasi perubahan diameter dan sudut sudu turbin sehingga diperoleh data pengujian seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Putaran Poros turbin pada variasi diameter sudu

No	Ø sudu (inchi)	\bar{N}_1 (rpm)	\bar{N}_2 (rpm)	\bar{V}_{DC} (volt)
1.	1/2	636	414	17.4
2.	3/4	642	401	16.5
3.	1	614	419	17.8

Tabel 3. hasil pengujian variasi sudut sudu Ø 1/2 inchi

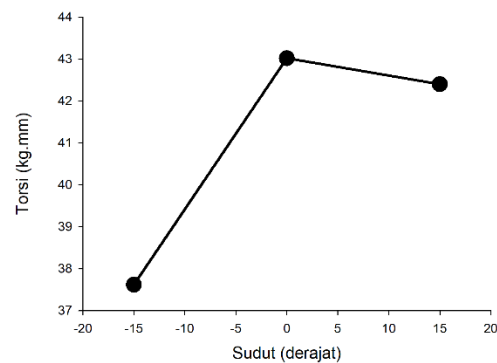
No	sudut (°)	\bar{N}_1 (rpm)	\bar{N}_2 (rpm)	\bar{W} (kg)
1.	-15	766	325	3.14
2.	0	794	323	3.59
3.	15	773	341	3.53

Berdasarkan hasil pengujian pada variasi diameter sudu (elbow pvc) diputuskan untuk menggunakan diameter

sudu 1/2 inchi dalam pengujian variasi sudut sudu. Simulasi beban menggunakan metode rem tali dengan hasil pengujian seperti pada Tabel 3.

Diperoleh hasil pengukuran debit sebesar 24 liter per menit, pada tekanan kerja sebesar 29 Psi atau setara dengan 20.39 tinggi kolom air (head). Dengan membandingkan hasil pengukuran terhadap kurva pompa diasumsikan terjadi headloss pada rangkaian pipa sebesar ± 7 meter head, hal ini disebabkan penggunaan diameter pipa yang relatif kecil (1 inchi) serta kehilangan pada belokan serta aksesoris pipa (katup, dan alat ukur), menggunakan Pers. 1 diperoleh $P_w = 80$ Watt.

Pully dengan ukuran 75 mm terpasang pada poros turbin, torsi yang dihasilkan pada setiap variasi sudut seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Torsi yang dihasilkan pada variasi sudut sudu

Daya mekanik yang dihasilkan pada setiap variasi sudut dihitung dengan Pers. 3 dapat dilihat pada Tabel 4

Tabel 4. Daya Mekanik Poros

No	sudut (°)	\bar{N}_2 (rpm)	T (N.m)	Pm (Watt)
1.	-15	325	0.92	31.37
2.	0	323	1.05	36.75
3.	15	341	1.03	37.12

Dengan membandingkan daya turbin terhadap Daya air (Pers. 4) dapat diperoleh nilai efisiensi terendah sebesar 39,19% pada sudut -15° dan Efisiensi turbin tertinggi sebesar 46,38% didapat pada variasi sudut 15° .

Pengaruh Diameter Sudu terhadap Putaran Poros; Berdasarkan data pengujian (Tabel 2), terlihat bahwa sudu dengan diameter 1 inci menghasilkan putaran poros tertinggi ($N_2 = 419$ rpm), lebih tinggi dibandingkan ukuran $\frac{1}{2}$ inci (414 rpm). Secara teoritis, hal ini dapat dijelaskan melalui rasio diameter jet terhadap diameter sudu. Ukuran mangkok sudu harus cukup besar untuk menampung debit air dari nosel tanpa menyebabkan *splashing* (cipratan) yang berlebihan yang dapat mengurangi transfer energi. Sudu 1 inci memiliki luas penampang tangkapan yang lebih besar, sehingga mampu meminimalisir air yang luput (*missed jet*), yang sesuai dengan prinsip kekekalan massa dalam aliran fluida. Namun, perlu dicatat bahwa massa sudu yang lebih besar pada ukuran 1 inci juga menambah inersia rotor, yang bisa menjadi beban tambahan pada debit kecil. Oleh karena itu, pemilihan ukuran $\frac{1}{2}$ inci untuk pengujian lanjutan didasarkan pada pertimbangan rasio *power-to-weight* yang lebih seimbang untuk skala mikro ini.

Pengaruh Variasi Sudut Sudu terhadap Torsi dan Efisiensi; Pada pengujian variasi sudut (Tabel 3 dan Gambar 5), diperoleh fenomena menarik di mana sudut $+15^\circ$ menghasilkan efisiensi tertinggi (46,38%) dibandingkan sudut -15° (39,19%) dan 0° . Hasil ini sejalan dengan teori segitiga kecepatan pada turbin impuls. Pada turbin Pelton konvensional, sudut defleksi air idealnya mendekati 180° untuk memaksimalkan perubahan momentum ($\Delta P = m(v_{in} - v_{out})$). Namun, secara praktis, air harus diarahkan keluar agar tidak menabrak sudu berikutnya (*backside interference*).

Sudut -15° (Negatif): Cenderung "menutup" aliran buang, sehingga air yang memantul tertahan di dalam mangkok atau menabrak punggung sudu berikutnya, menyebabkan gaya pengereman (*braking force*) yang menurunkan torsi.

Sudut $+15^\circ$ (Positif): Memberikan jalur buang air yang lebih baik. Sudut ini mengoptimalkan komponen gaya tangensial yang memutar poros sekaligus mencegah

interferensi aliran balik. Hal ini mengonfirmasi prinsip impuls di mana gaya dorong maksimal didapat ketika perubahan arah aliran terjadi secara mulus tanpa turbulensi berlebih di dalam mangkok sudu.

Efisiensi tertinggi yang dicapai (46,38%) memang masih di bawah turbin Pelton pabrikan (biasanya $>85\%$), hal ini wajar mengingat geometri elbow PVC yang setengah lingkaran (90°) tidak dapat membalikkan aliran air sesempurna desain *double-cup* pada Pelton standar (165°). Keterbatasan bentuk elbow menyebabkan air keluar tegak lurus terhadap arah datang, sehingga hanya separuh momentum potensial yang dapat dimanfaatkan. Meski demikian, untuk aplikasi *low-cost* di daerah terpencil, efisiensi ini sudah cukup fungsional untuk menggerakkan generator DC skala kecil.

4. Kesimpulan

Data Pengujian menunjukkan bahwa pemilihan diameter elbow PVC yang dimodifikasi menjadi sudu turbin mempengaruhi putaran poros turbin yang dihasilkan, sedangkan perubahan sudut pemasangan sudu turbin mempengaruhi secara nyata baik putaran poros, Torsi dan daya poros saat pembebanan yang terbaca pada perubahan nilai efisiensi turbin. Penggunaan elbow PVC $\frac{1}{2}$ inci dengan sudut pemasangan 15° terbukti paling efisien dalam penelitian ini.

Potensi pengembangan model turbin impuls dengan menggunakan elbow PVC sebagai material alternatif cukup menjanjikan, perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan menambahkan jumlah variasi baik diameter maupun sudut pemasangan, serta komparasi dengan hasil penelitian dengan metode pemodelan numerik akan memberikan informasi yang lebih lengkap.

Ucapan terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat dalam penelitian ini, khususnya kepada P3M Politeknik Negeri Kupang yang telah

mefasilitasi pendanaan penelitian ini melalui Program Penelitian Rutin Dosen PNK Tahun 2024, serta terima kasih kepada Jurusan Teknik Mesin PNK atas dukungan Fasilitas Laboratorium selama pelaksanaan penelitian ini.

Referensi

- [1] L. N. Rahayu and J. Windarta, "Tinjauan Potensi dan Kebijakan Pengembangan PLTA dan PLTMH di Indonesia," *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 3, no. 2, pp. 88–98, Jun. 2022.
- [2] Herman, "Capaian Target Bauran EBT 23% di 2025 Baru Separuh Jalan," *Berita Satu*, 2021. [Online]. Available: <https://www.beritasatu.com/ekonomi/744409/capaian-target-bauran-ebt-23-di-2025-baru-separuh-jalan>.
- [3] Mafrudin, S. D. Handono, B. Surono, and H. N. Ivoda, "Pengaruh Debit Air dan Sudut Busur Masuk Nosel terhadap Kinerja," vol. 14, no. 01, pp. 1–9, 2025.
- [4] F. J. Likadja, E. R. Mauboy, and C. M. Leda, "Prakiraan Kebutuhan Energi Listrik Di Provinsi Ntt Tahun 2019-2029 Menggunakan Metode Gabungan Dan Leap," *J. Media Elektro*, vol. IX, no. 1, pp. 22–30, 2020.
- [5] S. Tilahun, V. Paramasivam, M. Tufa, A. Kerebih, and S. K. Selvaraj, "Analytical investigation of Pelton turbine for mini hydro power: For the case of selected site in Ethiopia," *Mater. Today Proc.*, vol. 46, no. xxxx, pp. 7364–7368, 2021.
- [6] R. B. Astro, Y. D. Ngapa, S. G. Toda, and A. Nggong, "Potensi Energi Air Sebagai Sumber Listrik Ramah Lingkungan Di Pulau Flores," *Opt. J. Pendidik. Fis.*, vol. 4, no. 2, pp. 125–133, 2020.
- [7] S. W. P. Huda Setya Prayoga, "Rancang Bangun Purwarupa Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro Jenis Turbin Turgo," *Elektro, Jur. Tek. Ind. Fak. Teknol. Indones. Univ. Islam*, 2019.
- [8] S. Sahid, D. Surindra, A. Ramadanti, A. Prabowo, M. Afrizal, and R. Dikky, "Rancang Bangun Turbin Pelton Dari Pipa Pvc Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Guna Penerangan Wisata Air Terjun Di Desa Gogik," *Eksergi*, vol. 16, no. 1, p. 13, 2020.
- [9] D. Irawan, E. Nugroho, and E. Widiyanto, "Pengaruh jumlah nozzle terhadap kinerja turbin pelton sebagai pembangkit listrik di Desa Sumber Agung Kecamatan Suoh Kabupaten Lampung Barat," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 265–269, 2020.
- [10] J. Moh, K. Ii, S. Sawah, D. K. I. Jakarta, and L. Belakang, "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Air," vol. 23, no. 2, pp. 32–42, 2021.
- [11] M. Mafruddin, R. M. Irawan, N. Setiawan, N. Rajabiah, and D. Irawan, "Pengaruh jumlah sudu dan diameter nozel terhadap kinerja turbin pelton," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 2, pp. 214–218, 2020.
- [12] U. Ujiburrahman, R. Soenoko, and M. A. Choiron, "Pengaruh Variasi Lebar Sudu Mangkok terhadap Kinerja Turbin Kinetik Poros Vertikal," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 1, pp. 79–87, 2019.
- [13] A. Yani, "Rancang Bangun Alat Praktikum Turbin Air Dengan Pengujian Bentuk Sudu Terhadap Torsi Dan Daya Turbin Yang Dihasilkan," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 1, 2017.
- [14] A. Yani, B. Susanto, and R. Rosmiati, "Analisis Jumlah Sudu Mangkok Terhadap Kinerja Turbin Pelton Pada Alat Praktikum Turbin Air," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 2, pp. 185–192, 2018.
- [15] M. Eisenrin, *Micro Pelton Turbine*. 1991.