

SKRIPSI

ANALISIS PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH) MENGUNAKAN TURBIN PELTON DENGAN VARIASI JUMLAH SUDU



**Dibuat Untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik
Pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**

**OLEH :
MUHAMMAD RAFLY
03041381823077**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2022

LEMBAR PENGESAHAN
ANALISIS PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH)
MENGGUNAKAN TURBIN PELTON DENGAN VARIASI
JUMLAH SUDU



SKRIPSI

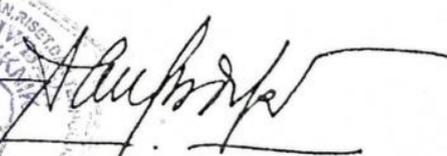
Dibuat Untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik
Pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya

OLEH :
MUHAMMAD RAFLY
03041381823077

Palembang, Juli 2022

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Menyetujui,
Pembimbing Utama


Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D.


Hermawati, S.T. M.T.

NIP. 197108141999031005

NIP. 197708102001122001

LEMBAR PERNYATAAN DOSEN

Saya sebagai pembimbing dengan ini menyatakan bahwa saya telah membaca dan menyetujui skripsi ini dan dalam pandangan saya skop dan kualitas skripsi ini mencukupi sebagai skripsi mahasiswa sarjana strata satu (S1)

Tanda Tangan :  _____

Pembimbing Utama : Hermawati, S.T., M.T.

Tanggal : 15 / 07 / 2022 _____

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Rafly
NIM : 03041381823077
Jurusan : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Universitas : Universitas Sriwijaya
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**ANALISIS PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH)
MENGUNAKAN TURBIN PELTON DENGAN VARIASI JUMLAH
SUDU**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan), dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tulisan saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Palembang
Pada Tanggal: 15 Juli 2022
Yang menyatakan,


Muhammad Rafly

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Rafly
NIM : 03041381823077
Fakultas : Teknik
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro
Universitas : Universitas Sriwijaya

Hasil Pengecekan

Software iThenticate/Turnitin : 14%

Menyatakan bahwa karya ilmiah dengan judul “Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Menggunakan Turbin Pelton Dengan Variasi Jumlah Sudu” merupakan karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari karya ilmiah ini merupakan hasil plagiat atas karya ilmiah orang lain, maka saya bersedia bertanggung jawab dan menerima sanksi yang sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan.

Palembang, 15 Juli 2022



Muhammad Rafly

NIM. 03041381823077

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “ANALISIS PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH) MENGGUNAKAN TURBIN PELTON DENGAN VARIASI JUMLAH SUDU”. Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada Rasulullah SAW, beserta keluarga, sahabat, dan juga para pengikutnya hingga akhir zaman.

Dalam proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari segala bentuk dukungan, bantuan maupun bimbingan yang telah diberikan dari berbagai pihak. Maka dari itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Ibuku, Betti Indrawati dan alm. Ayahku, Muhairam yang selalu mendoakan dengan tulus dan selalu memotivasi.
2. Kedua Saudaraku, Mutia Aldina Arafah dan M. Feisal Akbar yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Anis Saggaff, MSCE selaku Rektor Universitas Sriwijaya beserta staff.
4. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya beserta staff.
5. Bapak Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya.
6. Ibu Dr. Eng. Suci Dwijayanti, S.T., M.S. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya.
7. Ibu Hermawati, S.T., M.T. selaku Dosen pembimbing akademik dan pembimbing tugas akhir yang telah membimbing, mendidik, serta selalu memotivasi saya selama masa perkuliahan hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
8. Ibu Caroline S.T., M.T., Ibu Ike Bayusari S.T., M.T., dan Ibu Rahmawati S.T., M.T., selaku dosen penguji yang telah memberikan ilmu,

bimbingan, motivasi, dan arahan selama pengerjaan skripsi.

9. Seluruh dosen Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu pengetahuan serta wawasan yang bermanfaat dan Staf Jurusan Teknik Elektro yang telah banyak membantu selama perkuliahan.
10. Keluarga besar Suhaibun dan Aguscik yang juga selalu ada memberikan dukungan dan motivasi, terutama Acak Astuti dan Nyai Amnah.
11. Partner skripsian yang selalu mengingatkan, memotivasi dan memberi semangat selama penyusunan tugas akhir.
12. Kak Deden Palutra, Satya dan Yudha yang telah membantu penulis untuk bisa menyelesaikan tugas akhir ini.
13. Jaka, Dimas, KGS, dan semua teman-teman Teknik Elektro 2018 yang telah memberikan bantuan selama perkuliahan dari awal sampai akhir perkuliahan.
14. Geng Bolang yang selalu mendukung serta memberi semangat dan motivasi selama penyusunan tugas akhir.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna dan masih banyak kekurangan, hal ini dikarenakan keterbatasan penulis. Maka dari itu penulis mengharapkan saran dari pembaca. Semoga tugas akhir yang sederhana ini dapat memberikan manfaat bagi yang membutuhkan

Palembang, Juli 2022



Muhammad Rafly

NIM. 03041381823077

ABSTRAK
ANALISIS PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH)
MENGGUNAKAN TURBIN PELTON DENGAN VARIASI
JUMLAH SUDU

(Muhammad Rafly, 03041381823077, 2022, 33 halaman)

Saat ini energi listrik merupakan kebutuhan utama yang sangat penting dalam kehidupan. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) merupakan salah satu pembangkit listrik yang menggunakan energi air sebagai sumber utama untuk menghasilkan listrik. Turbin pelton sangat cocok digunakan untuk PLTMH karena pembangkit listrik ini berskala kecil. Pada penelitian ini penulis membuat *prototype* dari PLTMH menggunakan turbin pelton dengan memvariasikan jumlah sudu turbin tersebut. Pada pengujian *prototype* ini menggunakan variasi jumlah sudu yaitu 18 sudu, 20 sudu, dan 22 sudu dengan beban lampu LED 3 watt dan kecepatan air yang digunakan untuk memutar turbin sebesar $0,00091 \text{ m}^3/\text{s}$. Hasil pengukuran kecepatan putaran tertinggi diperoleh oleh turbin 22 sudu dengan nilai 6366 Rpm dan kecepatan terendah diperoleh oleh turbin 18 sudu dengan nilai 5071 Rpm. Dari hasil pengukuran output tegangan dan arus menggunakan multimeter berdasarkan hasil pengujian dengan jumlah 22 sudu menghasilkan daya paling tinggi sebesar 1.8681 watt sedangkan pengujian dengan jumlah 18 sudu menghasilkan daya paling rendah sebesar 1.3151 watt. Hal tersebut berdasarkan hubungan antara daya dan arus, dimana daya yang dihasilkan berbanding lurus dengan nilai arus. Daya listrik yang dihasilkan akan semakin besar jika nilai arus pada rangkaian juga semakin besar.

Kata kunci: PLTMH, Turbin Pelton, Sudu.

ABSTRACT

ANALYSIS OF MICROHYDRO POWER PLANT (PLTMH) USING PELTON TURBINE WITH VARIATIONS OF THE BUCKETS

(Muhammad Rafly, 03041381823077, 2022, 33 pages)

Currently, electrical energy is a very important primary need in life. Micro hydro power plant (PLTMH) is a power plant that uses water energy as the main source to generate electricity. The Pelton turbine is very suitable for PLTMH because this power plant is small in scale. In this study, the authors made a prototype of the PLTMH using a Pelton turbine by varying the number of turbine buckets. In testing prototype using variations in the number of buckets, namely 18 buckets, 20 buckets, and 22 buckets with a 3 watt LED light load and the speed of water used to rotate the turbine is $0.00091 \text{ m}^3/\text{s}$. The results of the measurement of the highest rotational speed were obtained by a 22 bucket turbine with a value of 6366 Rpm while the lowest speed was obtained by an 18 bucket turbine with a value of 5071 Rpm. From the results of measuring the output voltage and current using a multimeter based on the test results with a total of 22 buckets producing the highest power of 1.8681 watts while testing with a total of 18 buckets produces the lowest power of 1.3151 watts. This is based on the connection between power and current, where the power generated is directly proportional to the current value. The electric power generated will be greater if the value of the current in the circuit is also greater.

Key words: *PLTMH, Pelton Turbine, Buckets*

DAFTAR ISI

COVER	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN DOSEN	iii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	iv
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GRAFIK	xiv
DAFTAR RUMUS	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro	5
2.1.1. Prinsip Kerja PLTMH	6
2.1.2. Keuntungan Pemanfaatan Mikrohidro	8
2.1.3. Kekurangan Pemanfaatan Mikrohidro	8
2.2. Turbin Air.....	8
2.3. Jenis – Jenis Turbin Air	9
2.3.1. Turbin Reaksi	9
2.3.2. Turbin Impuls.....	11
2.4. Turbin Pelton	11

2.4.1.	Kelebihan Turbin Pelton	12
2.4.2.	Cara Kerja Turbin Pelton	12
2.4.3.	Komponen Utama Turbin Pelton	13
2.5.	Generator	15
2.6.	Debit Air	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		17
3.1.	Lokasi dan Waktu Penelitian	17
3.2.	Umum	17
3.3.	Peralatan dan Bahan	18
3.4.	Desain Turbin Pelton	19
3.5.	Diagram Alir Penelitian	21
3.6.	Tahapan Penelitian	22
3.7.	Rangkaian Pengukuran	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		25
4.1.	Umum	25
4.2.	Pengujian Tanpa Menggunakan Beban	26
4.3.	Pengujian Dengan Menggunakan Beban Lampu	26
4.4.	Perhitungan dan Pengolahan Data	27
4.4.1.	Perhitungan Daya Listrik yang Dihasilkan	27
4.4.2.	Perhitungan Efisiensi Turbin	27
4.5.	Analisa dan Pembahasan	28
4.5.1.	Hubungan Jumlah Sudu dan Kecepatan Putaran	28
4.5.2.	Hubungan Jumlah Sudu dan Tegangan	29
4.5.3.	Hubungan Jumlah Sudu dan Daya Output	30
4.5.4.	Hubungan Jumlah Sudu dan Efisiensi Turbin	31
BAB V PENUTUP		33
5.1.	Kesimpulan	33
5.2.	Saran	33
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema PLTMH	6
Gambar 2.2 Turbin Kaplan	10
Gambar 2.3 Turbin Francis	11
Gambar 2.4 Turbin Pelton.....	12
Gambar 2.5 <i>Runner</i> Turbin Pelton.....	13
Gambar 2.6 Nozzle.....	15
Gambar 3.1 Turbin Pelton.....	19
Gambar 3.2 Sudu.....	19
Gambar 3.3 Desain PLTMH	20
Gambar 3.4 Desain <i>Prototype</i> Turbin Pelton.....	20
Gambar 3.5 Diagram Alir Penelitian	21
Gambar 3.6 Rangkaian Pengukuran Tegangan Tanpa Menggunakan Beban.....	23
Gambar 3.7 Rangkaian Pengukuran Tegangan Dengan Menggunakan Beban	24
Gambar 3.8 Rangkaian Pengukuran Arus Dengan Beban	24
Gambar 4.1 <i>Prototype</i> Turbin Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro	25

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air	6
Tabel 3.1 Jadwal Penelitian.....	17
Tabel 3.2 Alat dan Bahan.....	18
Tabel 4.1 Pengujian Tanpa Beban	26
Tabel 4.2 Pengujian dengan lampu LED 3 watt	26

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Perbandingan Jumlah Sudu terhadap Putaran Turbin.....	29
Grafik 4.2 Perbandingan Jumlah Sudu terhadap Tegangan	30
Grafik 4.3 Perbandingan Jumlah Sudu terhadap Daya	31
Grafik 4.4 Perbandingan Jumlah Sudu terhadap Efisiensi Turbin.....	32

DAFTAR RUMUS

Rumus 2.1 Daya Output.....	7
Rumus 2.2 Efisiensi	7
Rumus 2.3 Daya Input	7

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada kehidupan manusia saat ini energi merupakan kebutuhan utama yang sangat penting, terlebih lagi perkembangan terutama di bidang teknologi sudah semakin maju dan pertumbuhan penduduk menyebabkan kebutuhan energi semakin meningkat setiap tahunnya. Karena hampir semua kegiatan di lingkungan kehidupan kita benar-benar terdukung dengan adanya energi listrik. Energi listrik biasa digunakan dalam kehidupan manusia dari yang bertegangan rendah untuk membantu kehidupan masyarakat sampai ke jumlah yang besar untuk keperluan di bidang industri. Segala aktivitas keseharian maupun kegiatan di industri tidak terlepas dengan keterlibatannya energi yang tak terbarukan.

Bahan bakar yang berbentuk minyak memiliki batas pakai dikarenakan jumlahnya yang sangat terbatas dan sulit atau bahkan tidak bisa dibuat lagi. Walaupun jumlahnya sudah menipis, sumber daya minyak masih sangat dibutuhkan masyarakat yang dapat menyebabkan suplai dari bahan bakar tersebut menjadi langka dan bisa saja akan habis di kemudian hari.

Untuk mengatasi penggunaan energi tidak terbarukan yang berlebih, dibutuhkan adanya energi alternatif yang bisa menggantikan tugas dari energi tidak terbarukan tersebut yaitu dengan menggunakan energi terbarukan. Energi terbarukan adalah alternatif yang bisa digunakan untuk menjadi sumber energi utama dalam kehidupan sehari-hari dan merupakan opsi lain dari pengembangan berbagai sumber daya yang sudah ada, oleh karena itu para peneliti terus mengembangkan macam-macam sumber daya yang dapat digunakan terus-menerus dalam jangka waktu yang lama tanpa perlu khawatir akan habis jika dipakai karena semakin tingginya permintaan atas energi. Indonesia mempunyai potensi energi baru dan terbarukan yang dapat dibidang tinggi seperti, mikrohidro sebesar 450 MW, energi surya 4,80 kWh/m² per hari, energi angin 3-6 m/s, Biomassa 50 GW, dan energi nuklir 3 GW. Maka dari itu salah satu langkah yang harus diambil Pemerintah adalah menambah kapasitas terpasang Pembangkit

Listrik Mikrohidro menjadi 2,846 MW untuk tahun 2025 mendatang [1].

Mikrohidro adalah gabungan dari dua kata yaitu *micro* yang artinya kecil dan *hydro* yang artinya air. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro mempunyai tiga elemen utama pada pengoperasiannya yaitu turbin, generator, dan energi air. PLTMH menghasilkan energi listrik dari aliran air yang mempunyai ketinggian air tertentu. Karena PLTMH merupakan pembangkit listrik tenaga air berskala kecil dan tidak membutuhkan daya yang besar, oleh karena itu PLTMH ini sangat cocok digunakan dengan turbin tipe pelton. Sudu berbentuk dua buah mangkok sebagai bagian yang menerima pancaran air yang dikeluarkan *nozzle* dibagi menjadi dua bagian oleh sudu dan melewati sudu pada turbin dengan dibelokkannya aliran air tersebut. Reaksi dari impuls membuat momen puntir pada sudu dan akan membuat *runner* terus berputar selagi ada air yang dipancarkan ke sudu [2].

Parameter-parameter yang berpengaruh pada kinerja turbin pelton terdiri dari jumlah *nozzle*, jarak *nozzle*, ketinggian jatuh air, kecepatan aliran, dan jumlah sudu. Penelitian tugas akhir ini akan membahas pengaruh performa dari turbin pelton yaitu pengaruh jumlah sudu dengan tujuan apakah dengan menambahkan jumlah sudu akan mempengaruhi nilai tegangan dan arus serta daya yang dihasilkan oleh turbin tersebut dengan menambahkan jumlah sudu yang digunakan mulai dari 18, 20 sampai 22 sudu. Berdasarkan latar belakang diatas, maka judul tugas akhir yang diangkat penulis yaitu “ANALISIS PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH) MENGGUNAKAN TURBIN PELTON DENGAN VARIASI JUMLAH SUDU”.

1.2 Rumusan Masalah

Didasari oleh hal yang melatarbelakangi tersebut untuk menghasilkan energi listrik yang ramah lingkungan dan tidak memerlukan biaya yang besar dilakukan pemanfaatan dari tenaga air. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro merupakan pembangkit listrik yang dapat menghasilkan daya sebesar 5 kW sampai dengan 100 kW.

Salah satu penelitian sebelumnya yang dilakukan Ricky Agus Saputra

Sitorus [3] dengan variasi jumlah sudu turbin pelton yang berjumlah 14, 16 dan 18 sudu dan daya tertinggi yang didapat dihasilkan dari turbin dengan 18 sudu yaitu 1,9075 watt. Pada penelitian ini penulis memvariasikan jumlah sudu dengan jumlah 18, 20, dan 22, dimana penulis akan menganalisis daya keluarannya.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan dari rumusan masalah diatas, adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Membuat *prototype* turbin pelton dengan variasi jumlah sudu 18, 20 dan 22.
2. Mengukur dan membandingkan kecepatan putaran turbin pada variasi jumlah sudu 18, 20 dan 22.
3. Menghitung daya keluaran dan efisiensi pada variasi jumlah sudu 18, 20 dan 22.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Penelitian dilakukan dengan menggunakan debit air yang diatur sebagai sumber energi PLTMH pada ketinggian yang telah ditentukan.
2. Jenis turbin yang digunakan adalah turbin pelton.
3. Percobaan dilakukan dengan menggunakan beban lampu LED 3 watt dengan asumsi $\text{Cos } \varphi = 0.85$.
4. Penulis hanya menghitung dan menganalisa daya keluaran yang dihasilkan oleh turbin pelton.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang terdapat pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas mengenai teori dasar dari skripsi dan data yang akan mendukung dalam melakukan penelitian berdasarkan literatur yang ada.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan mengenai metode penelitian yang akan digunakan, lokasi penelitian, waktu penelitian, dan tahapan pengerjaan daripada tugas akhir ini.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan mengenai hasil penelitian yang telah didapatkan pada saat pengujian berlangsung serta pengolahan data yang didapat dan analisisnya.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan dari hasil percobaan yang telah dilakukan serta saran untuk penelitian yang akan dilakukan berikutnya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Haryanto, "Energi Terbarukan," *Journal of Chemical Information and Modeling*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2017.
- [2] Rimbawati, *Pemanfaatan Energi Baru dan Terbarukan (Mikrohidro di Rumah Sumbul)*, 1st ed. Medan: UMSU Press, 2021.
- [3] R. Agus, "Desain Prototipe Turbin PLTMH Jenis Turbin Pelton Dengan Variasi Jumlah Sudu," *J.Tek. Elektro*, 2021.
- [4] I. Solihat, "Rancang Bangun Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)," *Jurnal Inovasi Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, vol. 1, no. 2, pp. 43–54, 2020.
- [5] M. Arifin, "PLTMH," *Journal of Electrical Technology*, 2015.
- [6] Z. Anisa, A. Apprianda, H. Novianto, and I. Rachman, "Micro-Hydro Power Plants (MHPP): Technical and analytical studies in creating experimental learning media for physics students," *Momentum: Physics Education Journal*, vol. 5, no. 1, pp. 53–64, 2021, doi: 10.21067/mpej.v5i1.4876.
- [7] F. B. Zei, "Karakteristik Daya Turbin Pelton Skala Mikro Dengan Variasi Bentuk Sudu Pipa Elbow 90⁰ Dengan Diameter ½" Dan ¾," *Universitas Muhammadiyah Jember*, 2016.
- [8] R. Arindya, *Energi Terbarukan*, 1st ed. Yogyakarta: TEKNOSAIN, 2018.
- [9] H. A. Rahmawan, "Rancang Bangun Turbin Pelton Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Skala Laboratorium," *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 2018.
- [10] P. G. I. Mahayana, Andhita, L. Jasa, and I. Janardana, Ngurah, Gusti, "Rancang Bangun Prototype PLTMH Dengan Turbin Pelton," *Spektrum Vol. 7, No 4 Desember 2020*, vol. 7, no. 4, pp. 35–45, 2020.

- [11] W. A. Alfatic, "Perancangan Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Vortex," *Universitas Muhammadiyah Surakarta*, 2021.
- [12] Niharman, A. F. Silaen, E. Tonadi, and O. Coranda, "Analisis Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi Turbin Pelton Dengan Tekanan Konstan," *Teknosia*, vol. 1, no. 1, pp. 36–42, 2021, doi: 10.33369/teknosia.v1i1.15390.
- [13] A. Pudjanarsa and D. Nursuhud, *Mesin Konversi Energi*, 3rd ed. Yogyakarta: CV ANDI OFFSET, 2013.
- [14] M. S. Simamora, "Perancangan Alat Uji Prestasi Turbin Pelton," *Universitas Pasir Pengaraian*, pp. 1–9, 2012.
- [15] I. G. N. Saputra, L. Jasa, and I. W. A. Wijaya, "Pengaruh Jumlah Sudu Pada Prototype Pltmh," *Jurnal SPEKTRUM*, vol. 7, no. 4, pp. 161–172, 2020.
- [16] Y. Eka Arif Widayaka, "Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Menggunakan Turbin Pelton Dengan Jumlah Sudu 16 Dan 18," *Teknik Mesin*, pp. 1–55, 2011.
- [17] N. Kholifah, A. C. Setyawan, D. S. Wijayanto, I. Widiastuti, and H. Saputro, "Performance of Pelton Turbine for Hydroelectric Generation in Varying Design Parameters," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 288, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/288/1/012108.
- [18] A. R. Harahap, "Pengaruh Jumlah Bucket Terhadap Kinerja Prototype Turbin Pelton," *Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*, 2018.
- [19] B. L. Gaol, "Uji Performansi Turbin Pelton Dengan 24 Sudu Pada Head 5,21 Meter Dengan Menggunakan Satu Nozel dan Analisa Perbandingan Menggunakan Variasi Bentuk Sudu," *Universitas Sumatera Utara*, pp. 1–93, 2013.

- [20] P. Ristiano and Sunardi, "Generator Ganda Pada Pembangkit Listrik Mikrohidro Dengan Turbin Tunggal," *Avitec*, vol. 1, no. 1, pp. 65–70, 2019, doi: 10.28989/avitec.v1i1.473.