

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI
ORIENTASI SUDU TERHADAP KINERJA TURBIN
TURGO SKALA PIKO**



SKRIPSI

**Disusun untuk Memenuhi Salah Satu Syarat dalam Menyelesaikan
Pendidikan Strata I Program Studi Teknik Mesin**

Oleh :

MARLIN MAULANA APRILIYANO

2202220029

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS TRIDINANTI**

2026

UNIVERSITAS TRIDINANTI
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN



SKRIPSI

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI ORIENTASI SUDU
TERHADAP KINERJA TURBIN
TURGO SKALA PIKO

Oleh:

MARLIN MAULANA APRILIYANO

2202220029

Mengetahui:
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Heriyanto Rusmaryadi, S.T., PG.Dip., M.T.

Diperiksa dan Disetujui Oleh:
Dosen Pembimbing I

Heriyanto Rusmaryadi, S.T., PG.Dip., M.T.

Pembimbing II

Imam Akbar, S.T., M.T.

Disahkan Oleh:
Dekan Fakultas Teknik



Dr. Ani Firda, S.T., M.T.



SKRIPSI

Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Orientasi Sudu Terhadap Kinerja Turbin Turgo Skala Piko

Pada hari : SENIN
Tanggal : 15 Juni 2026
Waktu : 09.00 s.d. 10.00
Tempat : Ruang Seminar FT-UNANTI

Telah dilangsungkan Sidang Sarjana atas Mahasiswa :

Nama : Marlin Maulana Apriliyano

NIM : 2202220029

B K U : KONVERSI ENERGI

Prodi : TEKNIK MESIN

Pembimbing 1 : Heriyanto Rusmaryadi, ST, PG. Dip., MT

Pembimbing 2 : Imam Akbar ST., MT

Telah Diuji dan Melakukan Perbaikan serta Dinyatakan Lulus Dalam

Ujian Sarjana Pada Tanggal 15 Juni 2026

Susunan Tim Penguji:

a. Ketua Penguji

Martin Luther King, ST., MT

b. Penguji 1

Hj. Rita Maria Veranika, ST., MT

c. Penguji 2

Ir. Togar PO. Sianipar, MT.

TandaTangan

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Marlin Maulana Apriliyano

NPM : 2202220029

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “**Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Orientasi Sudu terhadap Kinerja Turbin Turgo Skala Piko**” benar-benar bebas dari unsur plagiat dan publikasi ganda. Apabila di kemudian hari pernyataan ini terbukti tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Program Studi Teknik Mesin dan Universitas Tridinanti..

Apabila di kemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar dan ditemukan pelanggaran dalam skripsi ini, saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan ketentuan yang berlaku, termasuk pembatalan skripsi dan pencabutan gelar yang telah saya peroleh.

Palembang, 21 Juni 2026



Marlin Maulana Apriliyano

NPM. 2202220029

LEMBAR PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Marlin Maulana Apriliyano

NPM : 2202220029

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul **“Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Orientasi Sudu terhadap Kinerja Turbin Turgo Skala Piko”** benar-benar bebas dari unsur plagiat dan publikasi ganda. Apabila di kemudian hari pernyataan ini terbukti tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Program Studi Teknik Mesin dan Universitas Tridianti.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan tanpa paksaan dari pihak mana pun, sehingga dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Palembang, 21 Juni 2026



Marlin Maulana Apriliyano

NPM. 2202220029



Digital Receipt

This receipt acknowledges that Turnitin received your paper. Below you will find the receipt information regarding your submission.

The first page of your submissions is displayed below.

Submission author: Mia.robinson620@gmail.com mia.robinson620@gmail.com
Assignment title: Designing Research Instruments: Interviews, Surveys, and Obs...
Submission title: Skripsi_Marlin_Maulana_Apriliyano_2202220029_Teknik_Mesi...
File name: Skripsi_Marlin_Maulana_Apriliyano_2202220029_Teknik_Mesi...
File size: 40.57M
Page count: 111
Word count: 15,037
Character count: 94,537
Submission date: 21-Jun-2026 12:47PM (UTC-0400)
Submission ID: 2987012773

BAR I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Energi merupakan elemen fundamental dalam mendukung pembangunan sosial dan ekonomi masyarakat. Namun, pemerataan akses listrik masih menjadi tantangan strategis bagi negara berkembang, termasuk Indonesia. Berdasarkan laporan *Institute for Essential Services Reform* (IESR, 2023), kondisi geografis Indonesia sebagai negara kepulauan menyebabkan penyediaan listrik di wilayah terpencil dan pedesaan masih menghadapi berbagai kendala. Meskipun sektor energi nasional terus berkembang, sebagian daerah masih belum terjangkau jaringan listrik nasional secara optimal. Di sisi lain, Indonesia memiliki potensi energi air yang sangat besar untuk mendukung penyediaan energi terbarukan. Kusumawardhani Laksini (2011) mencatat bahwa potensi energi air Indonesia diperkirakan mencapai 75.000 MW, namun berdasarkan data PT PLN (2022), baru sekitar 9% dari potensi tersebut yang telah dimanfaatkan.

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pemanfaatan energi air, khususnya di wilayah luar Pulau Jawa dan Bali, masih perlu dikembangkan untuk mendukung penyediaan listrik di daerah yang belum terjangkau jaringan listrik secara optimal. Pada daerah terpencil, potensi aliran air lokal umumnya dapat dimanfaatkan melalui pembangkit berskala kecil yang tidak memerlukan debit besar maupun konstruksi kompleks. Fitriyansyah dan Adanta (2020) menyatakan bahwa teknologi mikrohidro dengan kapasitas di bawah 5 kW sesuai diterapkan di daerah terpencil dan berbukit yang memiliki potensi sumber air, karena memiliki biaya investasi dan perawatan yang relatif rendah dibandingkan teknologi energi terbarukan lainnya.

Pada sistem mikrohidro, turbin berperan mengubah energi air menjadi energi mekanik yang selanjutnya digunakan untuk menggerakkan generator. Pemilihan jenis turbin perlu disesuaikan dengan kondisi sumber air, seperti debit, tinggi jatuh air, dan kualitas aliran. Salah satu jenis turbin yang dapat digunakan adalah turbin Turgo. Turbin ini pertama kali dirancang dan dipatenkan oleh Eric Crowlson pada

Skripsi_Marlin_Maulana_Apriliyano_2202220029_Teknik_Mesin.docx

ORIGINALITY REPORT

17%

SIMILARITY INDEX

15%

INTERNET SOURCES

10%

PUBLICATIONS

9%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

Submitted to Sriwijaya University

Student Paper

1%

2

repository.its.ac.id

Internet Source

1%

3

Submitted to Fakultas Teknik

Student Paper

1%

4

repository.ummetro.ac.id

Internet Source

<1%

5

ar.scribd.com

Internet Source

<1%

6

repository.ub.ac.id

Internet Source

<1%

7

scholar.ui.ac.id

Internet Source

<1%

8

panel.bidgecongress.org

Internet Source

<1%

9

gurumuda.net

Internet Source

<1%

10	Submitted to University of Sydney Student Paper	<1 %
----	--	------

11	www.scribd.com Internet Source	<1 %
----	-----------------------------------	------

12	Ahmadi Ahmadi, Mochamad Arif Irfa`i, Basuki Basuki. "Pengaruh beban lampu terhadap tegangan, arus, dan rpm pada turbin angin savonius 2 sudu", ARMATUR : Artikel Teknik Mesin & Manufaktur, 2020 Publication	<1 %
----	---	------

13	Budiarso, Dwijaya Febriansyah, Warjito, Dendy Adanta. "The effect of wheel and nozzle diameter ratio on the performance of a Turgo turbine with pico scale", Energy Reports, 2020 Publication	<1 %
----	--	------

14	Submitted to University of Otago Student Paper	<1 %
----	---	------

15	forum.arduino.cc Internet Source	<1 %
----	-------------------------------------	------

16	core.ac.uk Internet Source	<1 %
----	-------------------------------	------

17	repository.umsu.ac.id Internet Source	<1 %
----	--	------

18	Submitted to University Of Tasmania	
----	-------------------------------------	--

19 artikelpendidikan.id
Internet Source

<1 %

20 ejournalmalahayati.ac.id
Internet Source

<1 %

21 www.coursehero.com
Internet Source

<1 %

22 woollemillingandpaving.com
Internet Source

<1 %

23 civilejournal.org
Internet Source

<1 %

24 e-journal.uajy.ac.id
Internet Source

<1 %

25 journals.uran.ua
Internet Source

<1 %

26 Dhipa Surendra Gunawan Sudirman.
"Rancang bangun dan analisa pengaruh
kemiringan dan jumlah bilah pada PLTMH
turbin ulir", INOVTEK - Seri Elektro, 2026
Publication

<1 %

27 Ujiburrahman Ujiburrahman, Rudy Soenoko,
Moch. Agus Choiron. "Pengaruh Variasi Lebar
Sudu Mangkok terhadap Kinerja Turbin

<1 %

LEMBAR PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Terima kasih kepada Allah Subhanahu wa Ta'ala atas segala rahmat, berkah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Skripsi ini.

“Everybody is a genius. But if you judge a fish by its ability to climb a tree, it will live its whole life believing that it is stupid.”

“Setiap orang itu jenius. Namun, jika kamu menilai seekor ikan dari kemampuannya memanjat pohon, ia akan menjalani seluruh hidupnya dengan keyakinan bahwa dirinya bodoh.”

(Albert Einstein)

Karya ini dipersembahkan untuk:

Kepada kedua orang tua penulis, Bapak Said dan Ibu Siswati, karena atas kerja keras, doa dan dukungan yang selama ini diberikan kepada penulis untuk terus selalu semangat dalam menjalani kehidupan.

Seluruh keluarga, Kakak, Mbak serta adik-adik yang selama ini selalu menyertai penulis.

Terima kasih kepada rekan-rekan Angkatan 2022 (HMM-FT UNANTI) yang selalu mendukung satu sama lain.

Terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung penulis selama perkuliahan dan tidak dapat disebutkan satu persatu.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur dipanjatkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala karena atas rahmat dan karunia-Nyalah sehingga dapat diselesaikan penyusunan laporan Skripsi ini yang berjudul “Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Orientasi Sudu terhadap Kinerja Turbin Turgo Skala Piko”.

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Dr. Dendy Adanta., S.Pd., M.T., IPP selaku pembimbing dari Universitas Sriwijaya dan Heriyanto Rusmaryadi, S.T., M.T., serta Imam Akbar., S.T., M.T., selaku pembimbing pertama dan kedua yang telah banyak membimbing dalam penyusunan Skripsi ini. Terima kasih juga saya sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan dan penyusunan Skripsi ini, antara lain:

1. Prof. Dr. Ir. H Edizal, AE, MS., selaku Rektor Universitas Tridinanti
2. Dr. Ani Firda, S.T, M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Tridinanti.
3. Heriyanto Rusmaryadi, S.T., PG.Dip., M.T., selaku ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Tridinanti.
4. Marthin Luther King, S.T., M.T., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Universitas Tridinanti.
5. Seluruh Staff Dosen dan Karyawan Fakultas Teknik Mesin Universitas Tridinanti.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Untuk itu diharapkan kritik dan saran dari pembaca. Penulis berharap agar laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Palembang, Mei 2026

Penulis

DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan Skripsi	ii
Lembar Pernyataan Keaslian Skripsi	iii
Lembar Pernyataan Bebas Plagiat	iv
Lembar Persembahan.....	v
Kata Pengantar	vi
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar	xii
Daftar Tabel.....	xv
Daftar Lampiran	xvi
Daftar Simbol	xvii
Daftar Singkatan	xviii
Abstrak.....	xix
Abstract.....	xx
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air).....	6
2.2 Potensi PLTA di Indonesia	6
2.3 Klasifikasi PLTA Berdasarkan Kapasitas Daya	7

2.4 Jenis Turbin Berdasarkan Prinsip Kerja	8
2.4.1 Turbin Impuls	8
2.4.2 Turbin Reaksi	9
2.5 Turbin Air Skala Pikohidro	10
2.6 Turbin Turgo.....	11
2.7 Analisis Segitiga Kecepatan	11
2.7.1 <i>Inlet</i>	12
2.7.2 <i>Outlet</i>	15
2.8 Analisis Perubahan Momentum.....	17
2.9 Analisis Geometri <i>Runner</i>	18
2.10 <i>Additive Manufacturing</i> (AM)	20
2.11 Karakteristik Kekasaran Permukaan <i>Resin Tough</i>	21
2.12 Energi Kinetik (E_k)	21
2.13 Energi Potensial (E_p).....	22
2.14 Kecepatan Nosel (V_{jet})	23
2.15 Ketinggian Nosel (H_{nosel})	24
2.16 Daya Potensial ($P_{potensial}$).....	25
2.17 Daya Listrik Generator ($P_{generator}$)	25
2.18 Daya Mekanik ($P_{mekanik}$)	26
2.19 Efisiensi Turbin (η_{turbin}).....	26
2.20 Efisiensi Generator ($\eta_{generator}$)	27
2.21 Efisiensi Total ($\eta_{overall}$).....	27
2.22 Hukum Lenz	28
2.23 Tinjauan Penelitian Terdahulu.....	29
BAB 3 METODE PENELITIAN	34

3.1 Deskripsi Penelitian	34
3.2 Lokasi Penelitian	34
3.3 Waktu Pelaksanaan	35
3.4 Langkah-Langkah Penelitian	36
3.4.1 Persiapan Alat dan Bahan Pengujian Turbin Turgo	36
3.4.2 Komponen Manufaktur Turbin Turgo	37
3.4.3 Perencanaan Eksperimental	38
3.4.3.1 Penentuan Diameter Nosel	38
3.4.3.2 Penentuan Diameter <i>Runner</i> dan Panjang Bilah Turbin	39
3.4.3.3 Penentuan Variasi Pembebanan Listrik	39
3.4.4 Tahapan Pelaksanaan	40
3.5 Perhitungan Analitik	41
3.6 Desain Geometri	42
3.7 Manufaktur Sudu Menggunakan <i>3D Printing</i> SLA (<i>Stereolithography</i>)	42
3.8 Sistem Pengukuran	43
3.9 Koding Alat Ukur	45
3.10 Verifikasi Alat Ukur	50
3.10.1 Verifikasi <i>Hall Effect Magnetic Sensor</i>	50
3.10.2 Verifikasi Tegangan	52
3.10.3 Verifikasi <i>Flowmeter</i>	53
3.10.4 Verifikasi Alat Ukur Arus	55
3.11 Metode Pengambilan Data	55
3.12 Metode Analisis Data	56
3.13 Diagram Alir Eksperimental	56
BAB 4 HASIL PEMBAHASAN	58
4.1 Hasil Analitik	58

4.1.1 Hubungan antara β_2 dan α_1 terhadap ΔC_x	58
4.1.2 Hubungan antara β_2 dan α_1 terhadap $\Delta C_x'$	59
4.1.3 Hubungan β_2 terhadap $\dot{m}_2$ dan $\dot{m}_2'$	59
4.1.4 Hubungan α_1 dan β_2 terhadap τ	60
4.1.5 Hubungan antara β_2 dan α_1 terhadap daya (W)	61
4.1.6 Hubungan antara β_2 dan α_1 terhadap Efisiensi	62
4.1.7 Hubungan antara α_1 terhadap r	63
4.2 Hasil Geometri Sudu	63
4.2.1 Geometri sudu turbin Turgo dengan orientasi ke samping	64
4.2.2 Geometri sudu turgo dengan orientasi ke atas	65
4.3 Hasil Manufaktur Turbin Turgo	66
4.3.1 Hasil Manufaktur Sudu Turgo dengan Orientasi ke Samping	66
4.3.2 Hasil Manufaktur Sudu Turgo dengan Orientasi ke Atas	66
4.4 Hasil Rangkaian Sistem Turbin Turgo Skala Pikohidro	67
4.4.1 Rangkaian Sistem Turbin Turgo Orientasi ke Samping	67
4.4.2 Rangkaian Sistem Turbin Turgo Orientasi ke Atas	67
4.5 Hasil Eksperimental	68
4.5.1 Hasil Data Pengujian Turbin Turgo Orientasi ke Atas	68
4.5.2 Hasil Data Pengujian Turbin Turgo Orientasi ke Samping	68
4.6 Mencari Kecepatan Nosel (V_{jet})	69
4.7 Mencari Ketinggian Nosel	69
4.8 Mencari Daya Potensial (P_{pot})	70
4.9 Mencari Daya Generator (P_{gen})	70
4.10 Mencari Daya Mekanik ($P_{mekanik}$)	71
4.11 Mencari Efisiensi Turbin (η_{turbin})	71

4.12 Mencari Efisiensi Generator ($\eta_{\text{generator}}$)	71
4.13 Mencari Efisiensi <i>Overall</i> (η_{overall}).....	72
4.14 Hasil Perhitungan Analitik.....	72
4.14.1 Hasil Perhitungan Analitik Orientasi Sudu Atas	73
4.14.2 Hasil Perhitungan Analitik Orientasi Sudu Samping	73
4.15 Perbandingan Rata-Rata Kinerja Orientasi Sudu Atas dan Samping	74
4.16 Hubungan Beban Generator Terhadap Kecepatan Putaran	75
4.17 Hubungan Beban Generator Terhadap Tegangan.....	76
4.18 Hubungan Beban Generator Terhadap Arus.....	77
4.19 Hubungan Beban Terhadap Daya Mekanik.....	78
4.20 Hubungan Beban Generator Terhadap Daya Listrik Generator	79
4.21 Hubungan Beban Terhadap Efisiensi Turbin.....	80
4.22 Hubungan Beban Terhadap Efisiensi Generator	81
4.23 Hubungan Beban Terhadap Efisiensi <i>Overall</i>	82
4.24 Pembahasan Analisis Statistik Pengaruh Orientasi Sudu	83
4.25 Pembahasan Pengaruh Orientasi Sudu Terhadap Kinerja Generator	84
4.26 Pembahasan Kondisi Nyala Lampu Pada Variasi Beban	85
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	86
5.1 Kesimpulan	86
5.2 Saran	87
DAFTAR PUSTAKA	88
LAMPIRAN.....	91

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Potensi energi air di Indonesia (Irawan & Mafruddin, 2020)	6
Gambar 2. 2 Jumlah sungai di Indonesia (Irawan & Mafruddin, 2020)	7
Gambar 2. 3 Klasifikasi PLTA (Irawan & Mafruddin, 2020).....	7
Gambar 2. 4 Turbin impuls (Mafruddin & Irawan, 2020).	8
Gambar 2. 5 Turbin reaksi (Mafruddin & Irawan, 2020).	9
Gambar 2. 6 Komponen sistem turbin pikohidro (Aaraj & Clodic, 2014)	10
Gambar 2. 7 Turbin Turgo (Gaiser et al., 2016)	11
Gambar 2. 8 Vektor kecepatan absolut aliran air yang keluar nosel.....	12
Gambar 2. 9 Vektor kecepatan relatif aliran air saat memasuki sudu (W_1).....	13
Gambar 2. 10 Sudut β_1 dan β_1'	13
Gambar 2. 11 Proyeksi kecepatan absolut aliran air masuk (C_1) terhadap sumbu Y (C_{1r}).....	14
Gambar 2. 12 Sudut γ	14
Gambar 2. 13 Tinjauan sudut masuk turbin Turgo	15
Gambar 2. 14 Kecepatan air keluar sudu	16
Gambar 2. 15 Tinjauan C_2 terhadap sumbu X dan Y (C_{2x} dan C_{2r}).....	16
Gambar 2. 16 Skema segitiga kecepatan turbin Turgo (Adanta et al., 2025)	19
Gambar 2. 17 SLA (<i>Stereolithography Apparatus</i>) (Lakkala et al., 2023).....	20
Gambar 2. 18 Ilustrasi energi kinetik (Hartmann & Priemer, 2019)	22
Gambar 2. 19 Ilustrasi energi potensial (Sahay & Rachna, 2024).....	23
Gambar 2. 20 Ilustrasi Hukum Lenz (Ragab & Salah, 2025)	28
Gambar 3. 1 Komponen turbin Turgo skala piko	38
Gambar 3. 2 Nosel turbin Turgo	38
Gambar 3. 3 Diameter runner dan panjang bilah turbin Turgo.....	39
Gambar 3. 4 Beban lampu yang disusun secara paralel.....	40
Gambar 3. 5 Diagram alir perhitungan analitik	41
Gambar 3. 6 Contoh desain sudu orientasi atas dan samping.....	42
Gambar 3. 7 Hasil <i>slicing model</i>	42

Gambar 3. 8 Tahapan manufaktur 3D printing SLA (<i>stereolithography</i>)	43
Gambar 3. 9 Komponen sistem pengujian turbin Turgo.....	44
Gambar 3. 10 Sensor alat ukur turbin Turgo	45
Gambar 3. 11 Pengujian sensor tachometer Arduino (<i>Hall Effect Sensor</i>).....	50
Gambar 3. 12 Verifikasi tachometer Arduino.....	51
Gambar 3. 13 Pengujian sensor tegangan Arduino Uno	52
Gambar 3. 14 Verifikasi sensor tegangan Arduino Uno	52
Gambar 3. 15 Pengujian sensor flowmeter Arduino Uno (sensor Yf-g1)	53
Gambar 3. 16 Verifikasi sensor Yf-g1	54
Gambar 3. 17 Verifikasi alat ukur arus	55
Gambar 3. 18 Tampilan <i>Data Streamer</i> pada Microsoft Excel	56
Gambar 3. 19 Flowchart Eksperimental.....	57
Gambar 4. 1 Hubungan antara β_2 dan α_1 terhadap ΔC_x	58
Gambar 4. 2 Hubungan antara β_2 dan α_1 terhadap $\Delta C_x'$	59
Gambar 4. 3 Hubungan β_2 terhadap $\dot{m}_2$ dan $\dot{m}_2'$	60
Gambar 4. 4 Hubungan antara β_2 dan α_1 terhadap $\Delta C_x'$	61
Gambar 4. 5 Hubungan antara β_2 dan α_1 terhadap daya (watt)	62
Gambar 4. 6 Hubungan antara β_2 dan α_1 terhadap η	62
Gambar 4. 7 Hubungan antara α_1 terhadap r	63
Gambar 4. 8 Geometri turbin Turgo orientasi ke samping	64
Gambar 4. 9 Geometri turbin Turgo orientasi ke atas.....	65
Gambar 4. 10 Hasil manufaktur turbin Turgo orientasi ke samping.....	66
Gambar 4. 11 Hasil manufaktur turbin Turgo orientasi ke atas	66
Gambar 4. 12 Sistem turbin Turgo orientasi ke samping.....	67
Gambar 4. 13 Sistem turbin Turgo orientasi ke atas.....	67
Gambar 4. 14 Hubungan P_{load} (W) terhadap kecepatan putaran (RPM)	75
Gambar 4. 15 Hubungan P_{load} (W) terhadap tegangan (V)	76
Gambar 4. 16 Hubungan P_{load} (W) terhadap arus (A)	77
Gambar 4. 17 Hubungan P_{load} (W) terhadap $P_{mekanik}$ (W).....	78
Gambar 4. 18 Hubungan P_{load} (W) terhadap $P_{elektrik}$ (W).....	79
Gambar 4. 19 Hubungan P_{load} (W) terhadap η_{turbin}	80

Gambar 4. 20 Hubungan P_{load} (W) terhadap $\eta_{\text{generator}}$	81
Gambar 4. 21 Hubungan P_{load} (W) terhadap η_{overall}	82
Gambar 4. 22 Pengaruh orientasi sudu terhadap kinerja generator	84
Gambar 4. 23 Kondisi nyala lampu pada masing-masing orientasi	85

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tabel 3. 1 Penelitian terdahulu turbin Turgo skala piko.....	32
Tabel 3. 1 Waktu pelaksanaan kegiatan penelitian	35
Tabel 3. 2 Alat dan bahan pengujian turbin Turgo	36
Tabel 3. 3 Perbandingan hasil tachometer Arduino dan komersil	51
Tabel 3. 4 Hasil perbandingan pengukuran tegangan arduino dan komersil	53
Tabel 3. 5 Hasil pengukuran debit air dan flowmeter.....	54
Tabel 4. 1 Geometri sudu turbin Turgo dengan orientasi ke samping	64
Tabel 4. 2 Geometri sudu turbin Turgo dengan orientasi ke atas	65
Tabel 4. 3 Hasil data pengujian geometri sudu orientasi ke atas	68
Tabel 4. 4 Hasil data pengujian geometri sudu orientasi ke samping.....	68
Tabel 4. 5 Hasil perhitungan analitik orientasi atas	73
Tabel 4. 6 Hasil perhitungan analitik orientasi samping.....	73
Tabel 4. 7 Perbandingan kinerja orientasi sudu atas dan samping.....	74
Tabel 4. 8 Hasil uji <i>paired t-test</i> pada masing-masing parameter kinerja	83

DAFTAR LAMPIRAN

lampiran. 1 Perhitungan Analitik	91
Lampiran. 2 Desain Turbin Turgo Skala Berdasarkan Analisis Segitiga Kecepatan	95
Lampiran. 3 Manufaktur Turbin Turgo Skala Piko	96
Lampiran. 4 Sistem Pengujian Turbin Turgo Skala Piko	97
Lampiran. 5 Komponen Turbin Turgo Skala Piko.....	97
Lampiran. 6 <i>Setup</i> Sistem Pengukuran	98
Lampiran. 7 Verifikasi Alat Ukur	99
Lampiran. 8 Persiapan Pengujian.....	100
Lampiran. 9 Pengujian Turbin Turgo Skala Piko	101
Lampiran. 10 Hasil Pengujian Turgo Orientasi Atas	102
Lampiran. 11 Hasil Pengujian Turgo Orientasi Samping	106

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Deskripsi	Satuan
C_1	Kecepatan absolut masuk	m/s
C_1'	Kecepatan balik absolut aliran masuk	m/s
C_2	Kecepatan absolut keluar	m/s
D	Diameter runner	m
d	Diameter nosel	m
g	Percepatan gravitasi	m/s ²
H	Head jatuh air	m
I	Arus listrik	A
k	Koefisien kecepatan nosel	–
L	Panjang sudu	m
n	Putaran runner	rpm
Pe	Daya listrik	W
$Pload$	Beban daya lampu	W
Q	Debit aliran	m ³ /s
$rblade$	Jari-jari sudu	m
U	Kecepatan keliling sudu	m/s
V_{dc}	Tegangan DC	V
W_1	Kecepatan relatif masuk	m/s
W_2	Kecepatan relatif keluar	m/s
ΔC_x	Perubahan komponen tangensial kecepatan absolut	m/s
$\Delta C_x'$	Perubahan kecepatan tangensial aliran balik	m/s
$\dot{m}$	Laju aliran massa	kg/s
$\dot{m}_2'$	Laju aliran massa aliran balik	kg/s
ω	Kecepatan sudut	rad/s
ρ	Massa jenis air	kg/m ³
η	Efisiensi turbin	%
α_1	Sudut jet masuk	(°)
α_2	Sudut absolut keluar	(°)
β_1	Sudut sudu masuk (inlet)	(°)
β_2	Sudut sudu keluar (outlet)	(°)
γ	Sudut relatif terhadap arah radial	(°)
ε	Jumlah sudut sudu ($\beta_1 + \beta_2$)	(°)
θ	Sudut apit antara C_1 dan W_1	(°)
ζ	Sudut kemiringan sudu	(°)

DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Deskripsi
CFD	<i>Computational Fluid Dynamics</i>
DC	<i>Direct Current</i>
IESR	<i>Institute for Essential Services Reform</i>
IPA	<i>Isopropyl Alcohol</i>
PLN	Perusahaan Listrik Negara
PLTA	Pembangkit Listrik Tenaga Air
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RPM	<i>Revolutions Per Minute</i>
SLA	<i>Stereolithography Apparatus</i>
STL	<i>Stereolithography</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
UV	Ultraviolet

ABSTRAK

Turbin Turgo merupakan salah satu turbin impuls yang potensial digunakan pada sistem pikohidro karena memiliki konstruksi sederhana dan dapat bekerja pada debit relatif kecil serta kondisi *head* rendah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi orientasi sudu terhadap kinerja turbin-generator Turgo skala piko. Parameter sudut sudu ditentukan berdasarkan analisis segitiga kecepatan, yaitu sudut jet masuk $\alpha_1 = 20^\circ$, sudut masuk sudu $\beta_1 = 40^\circ$, dan sudut keluar sudu $\beta_2 = 0^\circ$. Parameter tersebut digunakan sebagai dasar pembuatan dua variasi orientasi sudu, yaitu orientasi sudu atas dan orientasi sudu samping.

Pengujian dilakukan secara eksperimental dengan variasi beban lampu 9 W hingga 87 W. Parameter yang diamati meliputi kecepatan putaran, daya mekanik, daya listrik keluaran generator, efisiensi turbin, efisiensi generator, dan efisiensi overall. Hasil pengujian menunjukkan bahwa orientasi sudu atas menghasilkan kinerja lebih baik dibandingkan orientasi sudu samping. Orientasi sudu atas menghasilkan peningkatan kecepatan putaran sebesar 1,20%, daya mekanik sebesar 1,20%, daya listrik generator sebesar 2,02%, efisiensi turbin sebesar 1,20%, efisiensi generator sebesar 0,85%, dan efisiensi *overall* sebesar 2,05%.

Hasil uji *paired t-test* menunjukkan bahwa perbedaan pada kecepatan putaran, arus keluaran, daya mekanik, daya listrik generator, efisiensi turbin, dan efisiensi overall signifikan secara statistik dengan nilai *p-value* $< 0,05$, sedangkan tegangan keluaran dan efisiensi generator tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Dengan demikian, orientasi sudu atas dinyatakan lebih efektif karena arah aliran air lebih optimal mengenai permukaan sudu, sehingga transfer momentum dari fluida ke *runner* berlangsung lebih baik.

Kata kunci: Turbin Turgo, pikohidro, orientasi sudu, efisiensi.

ABSTRACT

The Turgo turbine is one type of impulse turbine that has potential for use in pico-hydropower systems because it has a simple construction and can operate at relatively low flow rates and low-head conditions. This study aims to analyze the effect of blade orientation variation on the performance of a pico-scale Turgo turbine-generator. The blade angle parameters were determined based on velocity triangle analysis, namely the inlet jet angle $\alpha_1 = 20^\circ$, the inlet blade angle $\beta_1 = 40^\circ$, and the outlet blade angle $\beta_2 = 0^\circ$. These parameters were used as the basis for producing two blade orientation variations, namely upward blade orientation and side blade orientation.

The experiment was conducted using lamp load variations from 9 W to 87 W. The observed parameters included rotational speed, mechanical power, generator electrical output power, turbine efficiency, generator efficiency, and overall efficiency. The results showed that the upward blade orientation produced better performance than the side blade orientation. The upward blade orientation increased the rotational speed by 1.20%, mechanical power by 1.20%, generator electrical power by 2.02%, turbine efficiency by 1.20%, generator efficiency by 0.85%, and overall efficiency by 2.05%.

The paired t-test results showed that the differences in rotational speed, output current, mechanical power, generator electrical power, turbine efficiency, and overall efficiency were statistically significant with a p-value < 0.05 , while the differences in output voltage and generator efficiency were not statistically significant. Therefore, the upward blade orientation can be considered more effective because the water flow strikes the blade surface more optimally, resulting in better momentum transfer from the fluid to the runner.

Keywords: Turgo turbine; pico-hydropower; blade orientation; efficiency.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Energi merupakan elemen fundamental dalam mendukung pembangunan sosial dan ekonomi masyarakat. Namun, pemerataan akses listrik masih menjadi tantangan strategis bagi negara berkembang, termasuk Indonesia. Berdasarkan laporan *Institute for Essential Services Reform* (IESR, 2023), kondisi geografis Indonesia sebagai negara kepulauan menyebabkan penyediaan listrik di wilayah terpencil dan pedalaman masih menghadapi berbagai kendala. Meskipun sektor energi nasional terus berkembang, sebagian daerah masih belum terjangkau jaringan listrik nasional secara optimal. Di sisi lain, Indonesia memiliki potensi energi air yang sangat besar untuk mendukung penyediaan energi terbarukan. Kusumawardhani Laksmi (2011) mencatat bahwa potensi energi air Indonesia diperkirakan mencapai 75.000 MW, namun berdasarkan data PT PLN (2022), baru sekitar 9% dari potensi tersebut yang telah dimanfaatkan.

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pemanfaatan energi air, khususnya di wilayah luar Pulau Jawa dan Bali, masih perlu dikembangkan untuk mendukung penyediaan listrik di daerah yang belum terjangkau jaringan listrik secara optimal. Pada daerah terpencil, potensi aliran air lokal umumnya dapat dimanfaatkan melalui pembangkit berskala kecil yang tidak memerlukan debit besar maupun konstruksi kompleks. Febriansyah dan Adanta (2020) menyatakan bahwa teknologi pikohidro dengan kapasitas di bawah 5 kW sesuai diterapkan di daerah terpencil dan berbukit yang memiliki potensi sumber air, karena memiliki biaya investasi dan perawatan yang relatif rendah dibandingkan teknologi energi terbarukan lainnya.

Pada sistem pikohidro, turbin berperan mengubah energi air menjadi energi mekanik yang selanjutnya digunakan untuk menggerakkan generator. Pemilihan jenis turbin perlu disesuaikan dengan kondisi sumber air, seperti debit, tinggi jatuh air, dan kualitas aliran. Salah satu jenis turbin yang dapat digunakan adalah turbin Turgo. Turbin ini pertama kali dirancang dan dipatenkan oleh Eric Crewdson pada

tahun 1919, serta memiliki karakteristik operasi yang relatif mirip dengan turbin Pelton. Namun, dibandingkan turbin Pelton, turbin Turgo dapat beroperasi secara efisien pada debit yang lebih tinggi sehingga dapat diterapkan pada rentang head yang lebih rendah. Menurut Benzon et al. (2015), turbin Turgo dapat bekerja pada lingkungan berpasir, berlumpur, atau mengandung sedimen karena karakteristik desainnya memungkinkan aliran air melewati sudu tanpa terperangkap secara berlebihan, sehingga dampak erosi dan keausan abrasif terhadap penurunan efisiensi relatif lebih kecil. Kemampuan bekerja pada debit relatif tinggi, rentang *head* lebih rendah, serta ketahanan terhadap kandungan sedimen menunjukkan bahwa turbin Turgo memiliki karakteristik yang sesuai untuk sistem pembangkit listrik tenaga air skala kecil. Oleh karena itu, turbin Turgo dapat menjadi alternatif yang fleksibel dan potensial untuk diterapkan pada sistem pikohidro, terutama pada daerah dengan sumber air terbatas dan kebutuhan listrik berskala kecil.

Namun demikian, meskipun memiliki potensi teknis yang signifikan, pemanfaatan turbin Turgo di Indonesia masih relatif terbatas. Menurut Musa dan Luspa (2023), salah satu faktor yang memengaruhi kinerja turbin Turgo adalah ketepatan desain komponen dan parameter operasinya. Sebagai turbin impuls, kinerja Turgo bergantung pada proses transfer momentum antara jet air dan sudu. Oleh karena itu, parameter seperti diameter nosel, posisi jet, bentuk sudu, sudut jet, dan orientasi sudu perlu diperhatikan karena berpengaruh terhadap putaran, daya, dan efisiensi turbin.

Penelitian Williamson et al. (2013) menunjukkan bahwa turbin Turgo dapat bekerja pada kondisi *low-head* 1–3,5 m dengan efisiensi mencapai 91% pada *head* 3,5 m dan 87% pada *head* 1,0 m setelah optimasi diameter nosel, sudut jet, dan posisi tumbukan jet. Cobb dan Sharp (2013) juga menunjukkan bahwa efisiensi Turgo dapat melebihi 80% pada *speed ratio* sekitar 0,46, tetapi kesalahan posisi jet dapat menurunkan efisiensi sekitar 10–20%. Temuan tersebut menegaskan bahwa arah interaksi jet terhadap sudu sangat berpengaruh terhadap performa turbin Turgo skala piko.

Penelitian berikutnya lebih banyak berfokus pada optimasi desain. Gaiser et al. (2016) telah memasukkan *blade orientation angle* sebagai salah satu parameter

desain, tetapi belum menjadikannya sebagai fokus utama. Warjito et al. (2017) menunjukkan bahwa modifikasi kurvatur sudu dapat menghasilkan efisiensi hingga 85,97%. Sementara itu, Budiarmo et al. (2020) dan Adanta et al. (2022) menemukan bahwa rasio diameter runner terhadap nosel atau D/d dan rasio U/V_{jet} berpengaruh signifikan terhadap performa turbin, dengan kondisi optimum pada $D/d = 22$ dan $U/V_{jet} = 0,42-0,47$. Selain itu, Adanta et al. (2025) mengoptimasi diameter *runner* dan panjang sudu dengan efisiensi optimum sebesar 19,95%.

Berdasarkan uraian tersebut, sebagian besar penelitian terdahulu masih berfokus pada diameter nosel, rasio *runner* terhadap nosel, bentuk sudu, dan dimensi sudu. Sementara itu, kajian mengenai orientasi sudu sebagai variabel utama masih relatif terbatas. Padahal, orientasi sudu berperan langsung dalam menentukan efektivitas tumbukan jet air terhadap permukaan sudu. Perubahan orientasi sudu dapat memengaruhi arah pembelokan aliran, proses transfer momentum, putaran *runner*, daya keluaran, dan efisiensi turbin. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis secara eksperimental pengaruh variasi orientasi sudu terhadap kinerja turbin Turgo skala piko, sehingga dapat diperoleh orientasi sudu yang lebih optimal untuk meningkatkan performa sistem pikohidro skala kecil.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana parameter sudut sudu yang digunakan dalam perancangan turbin Turgo skala piko berdasarkan analisis segitiga kecepatan?
2. Bagaimana pengaruh variasi orientasi sudu terhadap parameter kinerja turbin Turgo skala piko, meliputi kecepatan putaran, daya mekanik, daya listrik keluaran generator, efisiensi turbin, efisiensi generator, dan efisiensi *overall*?
3. Orientasi sudu manakah yang menghasilkan performa dan efisiensi optimum pada turbin Turgo skala piko?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini disusun untuk menjawab rumusan masalah mengenai pengaruh orientasi sudu terhadap kinerja turbin Turgo skala piko. Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan parameter sudut sudu yang digunakan dalam perancangan turbin Turgo skala piko berdasarkan analisis segitiga kecepatan.
2. Menganalisis pengaruh variasi orientasi sudu terhadap parameter kinerja turbin Turgo skala piko, meliputi kecepatan putaran, daya mekanik, daya listrik keluaran generator, efisiensi turbin, efisiensi generator, dan efisiensi *overall*.
3. Menentukan orientasi sudu yang menghasilkan performa dan efisiensi optimum pada turbin Turgo skala piko berdasarkan hasil pengujian eksperimental.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat baik secara akademis maupun praktis dalam pengembangan teknologi pembangkit listrik tenaga air skala kecil. Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi mengenai parameter sudut sudu yang digunakan dalam perancangan turbin Turgo skala piko berdasarkan analisis segitiga kecepatan.
2. Menjadi informasi eksperimental mengenai pengaruh variasi orientasi sudu terhadap parameter kinerja turbin Turgo skala piko, meliputi kecepatan putaran, daya mekanik, daya listrik keluaran generator, efisiensi turbin, efisiensi generator, dan efisiensi *overall*.
3. Menjadi acuan dalam menentukan orientasi sudu yang menghasilkan performa dan efisiensi optimum pada turbin Turgo skala piko.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian lebih terarah dan fokus pada tujuan yang ingin dicapai, maka batasan penelitian ini ditetapkan sebagai berikut:

1. Penelitian difokuskan pada turbin Turgo skala piko (*pico-hydro*) yang beroperasi pada kondisi *low-head* dengan tinggi jatuh air (*head*) sebesar 2.71 meter.
2. Seluruh pengujian dilakukan pada kondisi debit aliran air tetap sebesar $0,0003667 \text{ m}^3/\text{s}$ atau sekitar 22 L/min.
3. Variasi sudut jet (attack angle, α_1) sebesar 15° , 16° , 17° , 18° , 19° , 20° , 21° , 22° , 23° , 24° , dan 25° digunakan pada tahap analisis segitiga kecepatan (*velocity triangle*) untuk menentukan parameter geometri sudu turbin.
4. Sudut masuk sudu (β_1) ditetapkan sebesar 40° , sedangkan sudut keluar sudu (β_2) divariasikan pada rentang 0° , 10° , 20° , 30° , 40° , 50° , 60° , 70° , 80° , dan 90° pada tahap perhitungan analitik menggunakan metode segitiga kecepatan (*velocity triangle*) untuk menentukan parameter geometri sudu turbin.
5. Nosel yang digunakan hanya memiliki diameter 8 mm dan tidak dilakukan variasi diameter nosel selama penelitian.
6. Variasi pengujian dilakukan pada beban lampu listrik, yaitu sebesar 9 W, 18 W, 27 W, 39 W, 51 W, 63 W, 75 W, dan 87 W.
7. Parameter pengamatan meliputi kecepatan putaran, tegangan, arus, daya mekanik, daya listrik keluaran generator, efisiensi turbin, efisiensi generator, dan efisiensi *overall*.
8. Penelitian ini tidak membahas karakteristik internal generator DC secara mendalam, seperti rugi-rugi internal, efisiensi desain generator, dan karakteristik magnetik. Generator hanya dianalisis berdasarkan daya listrik keluaran dan efisiensi generator dari hasil pengujian.
9. Material sudu menggunakan tough resin. Karakteristik material tidak dijadikan variabel utama penelitian, namun informasi kekasaran permukaan ditampilkan sebagai data pendukung proses manufaktur sudu
10. Seluruh pengujian eksperimental dilakukan di Laboratorium Konversi Energi, Universitas Sriwijaya, menggunakan fasilitas dan instrumen yang tersedia di laboratorium tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Aaraj, Y., & Clodic, D. (2014). *Design of a Turgo two-phase turbine runner*.
- Abbasi, M., Váz, P., Silva, J., & Martins, P. (2025). Head-to-head evaluation of FDM and SLA in additive manufacturing: Performance, cost, and environmental perspectives. *Applied Sciences*, 15(4), 2245. doi: 10.3390/app15042245.
- Adanta, D., & Febriansyah, D. (2020). Feasibility analysis of a pico-scale Turgo turbine bucket using coconut shell spoons for electricity generation in remote areas in Indonesia. *I(1)*, 85–97.
- Adanta, D., Puspita, D., Syofii, I., & Risky, M. (2025). Optimization of pico-scale Turgo turbines for rural electrification: Design, performance, and applications in decentralized energy systems. *E-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 14, 101127. doi: 10.1016/j.prime.2025.101127.
- Adanta, D., Syofii, I., Sari, D. P., & Wiyono, A. (2022). Performance of pico scale Turgo turbine in difference the nozzle diameter. *International Journal of Fluid Machinery and Systems*, 15(1), 130–136. doi: 10.5293/IJFMS.2022.15.1.130.
- Benzon, D. S., Aggidis, G. A., & Anagnostopoulos, J. S. (2015). Development of the Turgo impulse turbine: Past and present. *Applied Energy*, 166, 1–18. doi: 10.1016/j.apenergy.2015.12.091.
- Budiarso, Febriansyah, D., Warjito, & Adanta, D. (2020). The effect of wheel and nozzle diameter ratio on the performance of a Turgo turbine with pico scale. *Energy Reports*, 6, 601–605. doi: 10.1016/j.egyr.2019.11.125.
- Butchers, J., Benzon, S., Williamson, S., Booker, J. D., & Aggidis, G. (2021). A rationalised CFD design methodology for Turgo turbines to enable local manufacture in the Global South. *Energies*, 14(19), 6250. doi: 10.3390/en14196250.

- Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2006). *Thermodynamics: An engineering approach*. New York: McGraw-Hill.
- Cobb, B. R., & Sharp, K. V. (2013). Impulse (Turgo and Pelton) turbine performance characteristics and their impact on pico-hydro installations. *Renewable Energy*, 50, 959–964. doi: 10.1016/j.renene.2012.08.010.
- Gaiser, K., Erickson, P., Stroeve, P., & Delplanque, J. (2016). An experimental investigation of design parameters for pico-hydro Turgo turbines using a response surface methodology. *Renewable Energy*, 85, 406–418. doi: 10.1016/j.renene.2015.06.049.
- Harmatys, W., Gąska, A., Gąska, P., & Gruza, M. (2025). Identification of the influence of IPA rinsing times on surface roughness of SLA-printed parts made of different materials. *Materials*, 18(9), 2082. doi: 10.3390/ma18092082.
- Hartmann, B., & Priemer, B. (2019). Teaching kinetic energy as an observable quantity.
- Ho-Yan, B. P. (2012). *Design of a low head pico hydro turbine for rural electrification in Cameroon*.
- Institute for Essential Services Reform. (2023). *Tantangan dan peluang mendorong pemerataan akses listrik di Indonesia*.
- Irawan, D., & Mafruddin. (2020). *Turbin impuls*. Metro, Lampung: CV Laduny Alifatama.
- Kusumawardhani, L. (2011). *Analysis of hydro power in Indonesia and recommendation for the future*. Ritsumeikan Asia Pacific University.
- Lakkala, P., Munnangi, S. R., Bandari, S., & Repka, M. A. (2023). Additive manufacturing technologies with emphasis on stereolithography 3D printing in pharmaceutical and medical applications: A review. *International Journal of Pharmaceutics: X*, 5, 100159. <https://doi.org/10.1016/j.ijpx.2023.100159>
- Luthfi, M., & Sodik, D. (2022). Studi potensi pembangkit listrik tenaga air di Bendungan Cipanas Sumedang. *11*(April), 18–23.

- Musa, L., & Luspa, I. N. (2023). Uji kinerja turbin Turgo dengan variasi jumlah sudu dan sudut kemiringan nozzle. *21*(1), 31–43.
- Purnama, A. A. M., et al. (2025). Analisis pengaruh perubahan diameter nosel terhadap prestasi turbin. *Journal of Innovation Research and Knowledge*, *4*, 8737–8752.
- Ragab, A., & Salah, M. (2025). *Lenz's law: Direction of induced current in magnetic fields*.
- Sahay, R., & Rachna, M. (2024). Micro-hydro power: Harnessing the potential energy of water for small-scale electricity generation. *1*(1), 13–17.
- Saputra, I. G. N., & Wijaya, I. W. A. (2020). Pengaruh jumlah sudu prototype PLTMH dengan menggunakan turbin Pelton terhadap efisiensi yang dihasilkan. *Teknik Elektro*.
- Sezer, İ. (2024). Experimental investigation of small scale Pelton turbine characteristics. *Araştırma Makalesi*, 73–78.
- Syofii, I., Sari, D. P., Santosa, M. A., Costa, A., Darussalam, R., Setiawan, A., & Santosa, A. (2023). Feasibility of pico scale Turgo turbine blade manufacturing method using three-dimension printer technology. *1*(1), 190–201.
- Warjito, Budiarmo, Siswantara, A. I., Adanta, D., Kamal, M., & Dianofitra, R. (2017). Simple bucket curvature for designing a low-head Turgo turbine for pico hydro application. *International Journal of Technology*, *8*(7), 1239–1247. doi: 10.14716/ijtech.v8i7.767.
- Williamson, S. J., Stark, B. H., & Booker, J. D. (2013). Performance of a low-head pico-hydro Turgo turbine. *Applied Energy*, *102*, 1114–1126. doi: 10.1016/j.apenergy.2012.06.029.
- Židonis, A., & Aggidis, G. A. (2015). State of the art in numerical modelling of Pelton turbines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *45*, 135–144. doi: 10.1016/j.rser.2015.01.037.