

## Pengaruh Kincir Tertutup Terhadap Efisiensi dan Rugi-rugi

Zaka Nurfadilah<sup>1</sup>, Dan Mugisidi<sup>2\*</sup>, Abdul Rahman Soleh Pohan<sup>3</sup>, Oktarina Heriyani<sup>4</sup>

\*Email corresponding author: dan.mugisidi@uhamka.ac.id

<sup>1,2,3,4</sup>Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka, Indonesia

Article history: Received: 01 Mei 2023 | Revised: 17 Mei 2023 | Accepted: 26 Mei 2023

**Abstract.** *Waterwheel is a component in a Micro Hydro Power Plant (PLTMH) which obtains energy from flowing water which has a height and speed. The amount of energy converted by the water wheel depends on the shape of the blade and the installation position, but the losses due to wasted water are still large. Therefore this study proposes a closed water wheel to reduce losses. This research uses two condition of water wheel: open wheel and closed wheel. This research uses one mill which applied into two conditions. The waterwheel is made using Polylactid Acid (PLA) and tested using 2 inch pipe lines and flow rates of 10, 12, 14, 16, 18, 20 m<sup>3</sup>/hour. The efficiency of a closed water wheel is higher than that of an open wheel at all discharge rates. The highest efficiency for a closed wheel is 54.54% and for an open wheel is 52.25% at a discharge of 10 m<sup>3</sup>/hour with a loss ratio of 0.078 for an open wheel and 0.065 for a closed wheel which shows that the losses in the water wheel are reduced.*

**Keywords -** Efficiency, Waterwheel, Micro hydro, Losses

**Abstrak.** *Kincir air adalah komponen dalam Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) yang mendapatkan energi dari aliran air yang memiliki ketinggian dan kecepatan. Jumlah energi yang dikonversikan oleh kincir air tergantung pada bentuk sudu dan posisi pemasangannya akan tetapi rugi-rugi akibat air yang terbuang masih besar. Oleh karena itu penelitian ini mengusulkan kincir air tertutup untuk mengurangi rugi-ruginya. Penelitian ini menggunakan dua jenis: kincir terbuka dan kincir tertutup. Penelitian ini menggunakan satu kincir yang diaplikasikan untuk dua kondisi. Kincir air dibuat menggunakan Polylactid Acid (PLA). Kincir air diuji menggunakan saluran pipa 2 inch dan laju aliran 10, 12, 14, 16, 18, 20 m<sup>3</sup>/jam. Efisiensi kincir air tertutup lebih tinggi daripada kincir terbuka pada semua tingkat debit. Efisiensi tertinggi kincir tertutup adalah 54,54% dan kincir terbuka 52,25% pada debit 10 m<sup>3</sup>/jam dengan rasio rugi-rugi mencapai 0,078 pada kincir terbuka dan 0,065 pada kincir tertutup yang menunjukkan bahwa rugi-rugi pada kincir air berkurang.*

**Kata Kunci -** Efisiensi, Kincir Air, Mikrohidro, Rugi-rugi

### PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan manusia dalam melakukan aktifitas sehari-hari [1]. Pertumbuhan jumlah penduduk dari tahun ke tahun semakin meningkat yang menyebabkan kebutuhan energi listrik menjadi meningkat [2] karena berbagai peralatan menggunakan energi listrik [3]. Akan tetapi Pembangkit listrik harus dicapai untuk memenuhi kebutuhan yang meningkat ini. Sehingga dibutuhkan sumber energi terbarukan seperti energi air, energi angin, energi matahari, biogas, gelombang laut dan sebagainya [4]. Di Indonesia, penyediaan energi listrik masih mengandalkan pembangkit listrik dengan bahan bakar fosil [5]. Berkurangnya cadangan energi fosil seperti minyak bumi, gas, dan batu bara, maka perlu diadakan pengembangan mengenai pembangkit listrik yang ramah lingkungan seperti kincir air dengan memanfaatkan aliran dan jatuhnya air [6]. Sampai saat ini sumber energi terbesar yang telah dimanfaatkan adalah energi air [7].

Energi air merupakan energi yang berasal dari alam yang mudah didapat, disebabkan air mempunyai energi potensial dan energi kinetik [8] [9]. Energi air menjadi pilihan yang baik karena kondisi di Indonesia yang bergunung dan berbukit yang di aliri oleh banyak sungai yang menghasilkan energi dan akan dimanfaatkan dalam wujud energi mekanik menjadi energi listrik [10]. Tenaga air merupakan energi terbarukan yang sangat berkontribusi untuk pembangkit listrik [11]. Namun karena bergantungnya pada kondisi geografis dan cuaca, pemanfaatan energi air tidaklah sederhana [12].

Salah satu alat pembangkit listrik tenaga mikrohidro yang optimal di Indonesia adalah kincir air. Kincir air adalah tenaga air yang digunakan sejak jaman dahulu untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik [13]. Prinsip kerjanya adalah memanfaatkan besar debit air yang menggerakkan kincir dengan mengubah energi mekanik menjadi energi listrik [14] [15]. Ada beberapa jenis kincir air yaitu : *overshoot*, *undershoot*, *breastshoot*, kincir air aliran [16] [17]. Pemanfaatan mikrohidro sangat menguntungkan untuk daerah-daerah terpencil [18]. Oleh karena itu, desain kincir air relatif sederhana dan memiliki torsi tinggi, namun implementasi kincir air sebagai mikrohidro perlu di teliti lebih lanjut untuk mengembangkan kinerja PLTA [19].

Beberapa penelitian tentang kincir air telah banyak dilakukan diantaranya tebal sudu terhadap kinerja kincir air sudu datar [20], kedalaman pencelupan sudu kincir [21], pengaruh tinggi sudu kincir air terhadap daya dan efisiensi [22], analisis kerugian pada performa *dethridge wheel* [23] [24], karakteristik kinerja dan rugi-rugi daya pada kincir air *breastshot* [25], serta estimasi daya keluaran dan rugi-rugi daya pada kincir air *overshot* [26]. Oleh karena itu perlu dilakukan upaya untuk mengurangi rugi-rugi pada kincir air. Sejauh ini belum ada penelitian yang menggunakan kincir air tertutup untuk mengurangi rugi-rugi pada kincir air. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan rugi-rugi kincir air dengan menggunakan kincir air tertutup.

## METODE

Pengujian kincir air ini untuk mengukur efisiensi dan rugi-rugi kincir air [27]–[29] yang dihasilkan dengan kincir tertutup. Kincir air tertutup yang digunakan pada penelitian ini adalah kincir air yang dikurangi luasan terbukanya sehingga aliran air masuk tidak terganggu tetapi air tidak mudah untuk keluar dan dibandingkan dengan kincir air yang biasa (kincir air terbuka) seperti pada gambar 1.



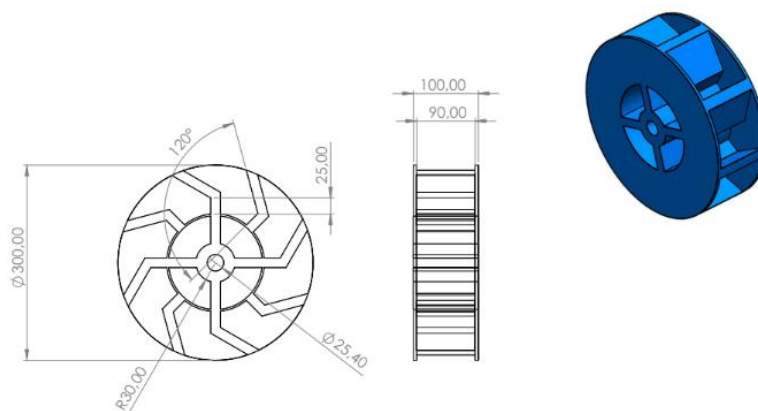
Gambar 1. (a) Kincir air terbuka dan (b) Kincir air tertutup

Alat yang digunakan dalam penelitian ini tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Alat Ukur yang digunakan

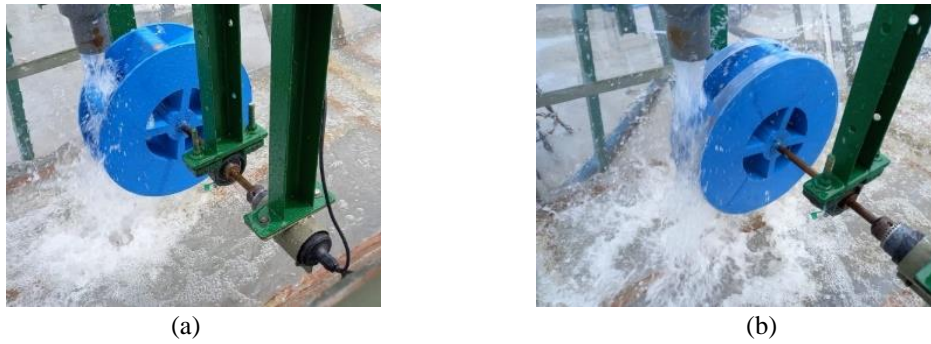
Alat Ukur	Tipe
Rotameter	LZS 65 Z
Tachometer	KW06-563
Torque meter	Lutron TQ-8800
Flow Velocity meter	Flowatch FL-03

Pada penelitian ini menggunakan satu kincir air dengan untuk mengambil data kincir air terbuka dan selanjutnya kincir air yang sama digunakan menjadi kincir air tertutup. Kincir ini memiliki diameter 300 mm dan lebar 100 mm dengan menggunakan bahan *Polyactid Acid*. Penutup kincir air terbuat dari *fiber plastic composite* dengan ukuran 20 mm pada kedua sisi.



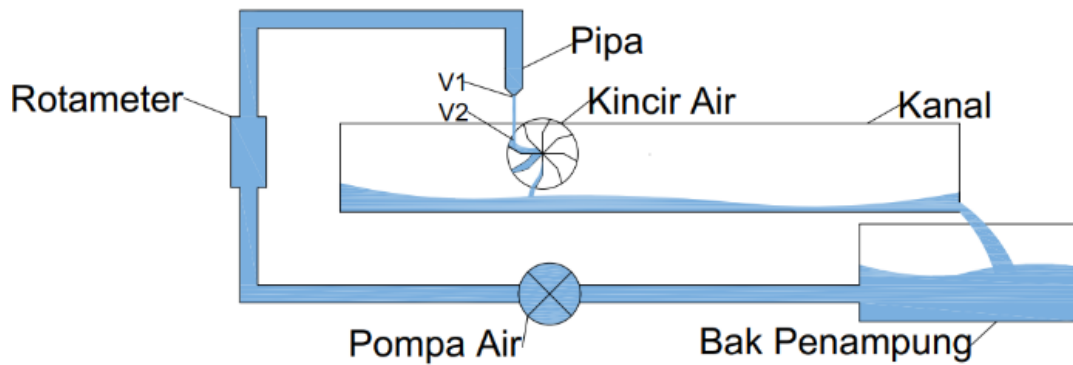
Gambar 2. Geometri Kincir air

Penelitian ini membandingkan kincir terbuka dan kincir tertutup. Kincir tertutup dibuat sebagai mengurangi rugi-rugi pada kincir terbuka.



Gambar 3. (a). Proses pengambilan data kincir terbuka dan (b) Proses pengambilan data kincir tertutup

Percobaan menggunakan enam variasi debit air, yaitu 10, 12, 14, 16, 18, 20 m<sup>3</sup>/jam. Air dipompa dari tangki penyimpanan air ke pipa dan melalui rotameter. Air mengalir melalui saluran kemudian memutar kincir air kemudian mengalir kembali ke bak penampung seperti gambar 4.



Gambar 4. Percobaan Kincir Air

Tenaga air dapat diperoleh berdasarkan perbedaan debit air yang masuk kedalam kincir air. Daya yang dihasilkan oleh air dapat dihitung dengan mengalikan [30].

$$P_i = \rho \times Q \times g \times H \quad (1)$$

Dimana :

$$g = 9,81 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$H = \text{Tinggi jatuh air (0,40 m)}$$

$$\rho = \text{Massa jenis air (1000 kg/m}^3\text{)}$$

Daya yang dihasilkan oleh kincir dapat dihitung dengan mengalikan torsi (T) dan kecepatan sudut ( $\omega$ ) [30].

$$P_o = T \times \omega \quad (2)$$

$$P_o = T \times \frac{2\pi n}{60} \quad (3)$$

Dimana :

$$T = \text{Torsi (Nm)}$$

$$n = \text{Putaran kincir (Rpm)}$$

Efisiensi kincir merupakan perbandingan antara daya kincir air dan daya air, maka diperoleh [30].

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100\% \quad (4)$$

Gaya air ( $F_a$ ) yang mendorong sudu kincir yang disebabkan oleh massa air ( $\dot{m}$ ) yang bergerak menimbulkan gaya tangensial kincir ( $F_t$ ) yang tegak lurus terhadap poros kincir sehingga menimbulkan gaya kincir ( $F_o$ ) [31].

$$\dot{m} = \rho \times A \times v \quad (5)$$

$$F_a = \dot{m} \times (v_2 - v_1) \quad (6)$$

$$F_t = \frac{F_a}{\cos \theta} \quad (7)$$

*Impact losses* ( $L_{imp}$ ) dapat terjadi di kincir maupun di saluran. *Impact losses* dapat dituliskan sebagai :

$$L_{imp} = \xi \gamma Q \frac{w^2}{2g} \quad (8)$$

Dimana :

$\xi$  = Koefisien dampak

$\gamma$  = Berat jenis air ( $N/m^3$ )

$w$  = Kecepatan relative (m/s)

$g$  = Gravitasi (9,81 m/s)

Untuk mendapatkan kecepatan relatif dapat dituliskan

$$w = v - u \quad (9)$$

Dimana :

$v$  = Kecepatan aliran air (m/s)

$u$  = Kecepatan tangensial (m/s)

*Volumetric Losses* ( $L_{Qu}$ ) terjadi di bagian masuknya air kedalam kincir. Sebagian dari aliran air hilang ketika air masuk kedalam kincir. *Volumetric Losses* dapat dituliskan :

$$L_{Qu} = \gamma Q_u (H_u - H_d) \quad (10)$$

Dimana :

$Q_u$  = *Volumetric losses* di bagian sudu kincir ( $m^3/s$ )

$H_u$  = Tinggi aliran air sampai permukaan (m)

$H_d$  = Tinggi genangan air (m)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melakukan pengambilan data, maka data tersebut akan diolah. Data hasil penelitian pada kincir air *overshot* didapatkan pengukuran daya yang dihasilkan oleh kincir air *overshot*. Kecepatan aliran air diukur dari perbedaan debit air, serta rpm kincir dari pengukuran kecepatan putaran kincir.

Pada pengambilan data dilakukan dengan menggunakan debit 10, 12, 14, 16, 18, 20  $m^3/det$  yang disirkulasikan dengan menggunakan pompa dengan variable kincir terbuka dan kincir tertutup. Setelah melakukan pengambilan data maka hasil data tersebut dapat dilihat pada tabel 2 dan 3 berikut :

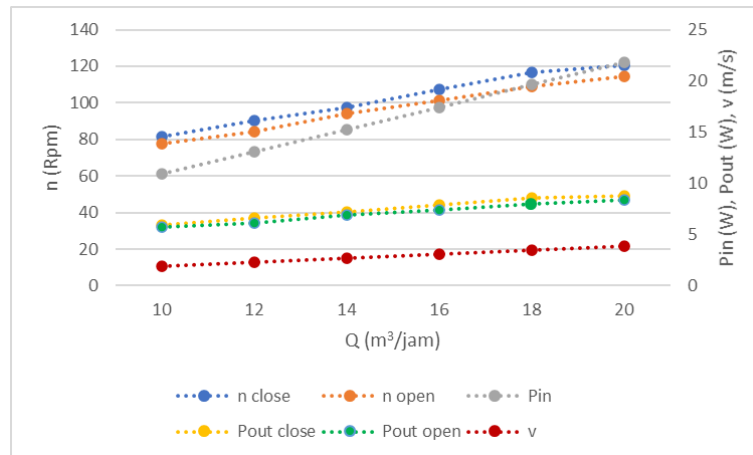
Tabel 2. Kincir air terbuka

Q ( $m^3/jam$ )	n (rpm)	$P_{in}$ (W)	$P_{out}$ (W)	E (%)	$\lambda$
10	77,7	10,91	5,7	52,25	0,61
12	84	13,07	6,16	47,13	0,56
14	94,2	15,26	6,9	45,21	0,54
16	101,5	17,42	7,44	42,71	0,52
18	108,7	19,62	7,97	40,62	0,49
20	114,2	21,82	8,37	38,36	0,46

Tabel 3. Kincir air tertutup

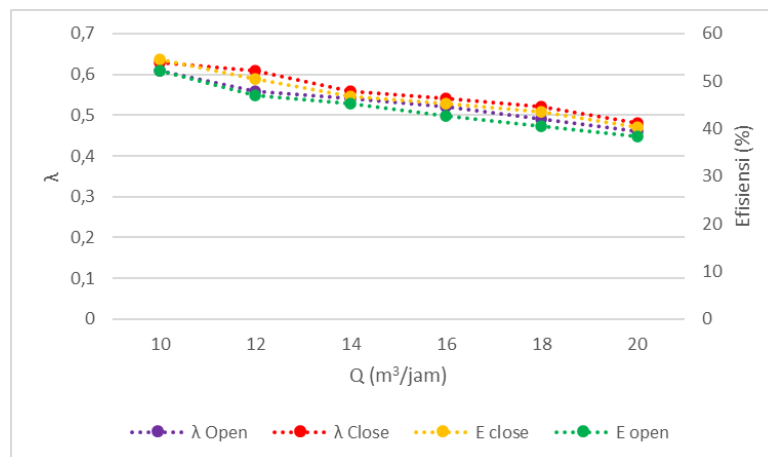
Q ( $m^3/jam$ )	n (rpm)	$P_{in}$ (W)	$P_{out}$ (W)	E (%)	$\lambda$
10	81,3	10,91	5,95	54,54	0,63
12	90,3	13,07	6,61	50,57	0,61
14	97,7	15,26	7,16	46,92	0,56
16	107,5	17,42	7,88	45,23	0,54
18	116,8	19,62	8,56	43,63	0,52
20	120,3	21,82	8,81	40,38	0,48

Torsi diatur sebesar 0,7 Nm. Putaran kincir dipengaruhi oleh jumlah air yang mengalir, seperti yang dilihat pada tabel diatas putaran kincir air terbuka dan tertutup meningkat dengan bertambahnya aliran air. Namun, pada kincir tertutup lebih besar putarannya dibandingkan dengan kincir terbuka. Karena penutup pada kincir air tertutup memungkinkan untuk masuknya air dapat terkonsentrasi dan terarah secara lebih efektif aliran air menuju bagian kincir. kincir tertutup yang dikurangi luasan terbukanya yang membuat aliran air yang masuk kedalam sudu kincir tertutup akan lebih terfokus pada bagian tengah kincir dan tidak mudah keluar karena air terbentur dengan penutup kincir yang membuat rugi-rugi pada kincir tertutup lebih sedikit dibandingkan dengan kincir terbuka [32]. Bahkan apabila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya [33]–[37] efisiensi kincir air tertutup lebih tinggi. Perbandingan tersebut akan dibuatkan dengan grafik. Berikut ini adalah grafik yang menggambarkan perbandingan hasil data-data yang sudah diolah:



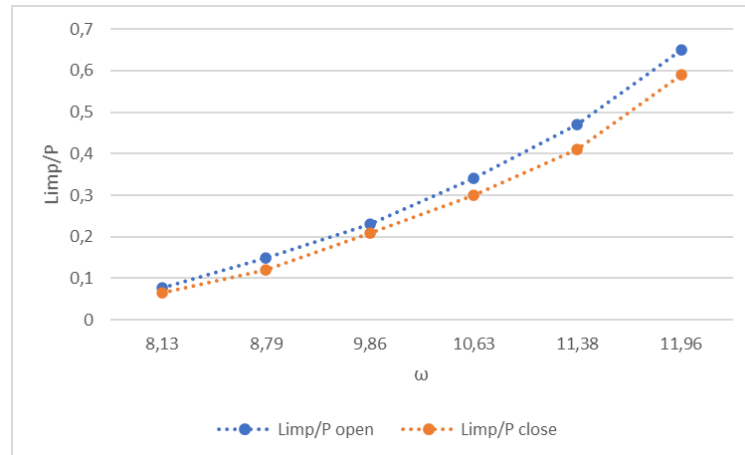
Gambar 5. Grafik daya kincir ( $P_{out}$ ), daya air ( $P_{in}$ ), kecepatan putaran ( $n$ ) dan debit air ( $Q$ )

Selain menampilkan daya kincir, gambar 5 menampilkan daya air, kecepatan putaran dan debit air. Tampak bahwa daya kincir dan daya air meningkat dengan bertambahnya laju aliran air. Hal ini karena laju aliran bertambah sehingga energi kinetik yang menggerakkan sudu meningkat. Meskipun diatur dengan torsi 0,7 Nm daya kincir tertutup lebih besar dari daya kincir terbuka dengan debit air yang sama.



Gambar 6. Grafik efisiensi (%) dan tip speed ratio ( $\lambda$ )

Gambar 6 menampilkan efisiensi kincir tertutup dan kincir terbuka dengan debit aliran 10  $m^3/jam$  pada 81,3 rpm dan 77,7 rpm berturut-turut adalah 54,54 % dan 52,25%. Namun ketika debit dinaikkan efisiensinya turun. Hal ini dikarenakan peningkatan putaran kincir air tidak sebanding dengan pertambahan debit air.



Gambar 7. Grafik *Impact losses* ( $L_{imp}$ ) terhadap kecepatan sudut ( $\omega$ )

Gambar 7 menampilkan *impact losses*. Tampak bahwa *impact losses* meningkat dengan bertambahnya kecepatan sudut. Namun *impact losses* kincir tertutup lebih rendah dibandingkan dengan kincir terbuka. Karena air yang masuk kedalam kincir tertutup cipratannya membentur penutup sehingga mengurangi rugi-rugi dan memberikan gaya dorong terhadap kincir.

## KESIMPULAN

Energi kinetik pada aliran air dengan menggunakan pipa belum dimanfaatkan secara maksimal, padahal kebutuhan energi listrik semakin meningkat di Indonesia. Salah satu alat pembangkit listrik tenaga mikrohidro yang optimal di Indonesia adalah kincir air. Hasil percobaan menunjukkan bahwa kincir air tertutup lebih efisien di bandingkan dengan kincir air terbuka. Hal ini dikarenakan *Impact losses* pada kincir tertutup lebih sedikit dibandingkan dengan kincir terbuka. gaya tangensial kincir ( $F_t$ ) meningkat dengan bertambahnya massa air. Hal ini dikarenakan bertambahnya gaya air yang mendorong sudu. Rasio rugi-rugi tertinggi pada kincir tertutup mencapai 0,59 dan kincir air terbuka 0,64. Efisiensi tertinggi pada kincir air terbuka adalah 54,54% dan kincir air tertutup mencapai 52,25%, menunjukkan peningkatan 2,29% pada  $10 \text{ m}^3/\text{jam}$  dan pada rasio rugi-rugi mencapai 0,078 pada kincir terbuka dan 0,065 pada kincir tertutup.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lemlitbang UHAMKA yang telah mendanai penelitian ini dengan nomor kontrak 50/F.03.07/2022

## REFERENSI

- [1] E. Elfiano *et al.*, "Pembuatan Kincir Air Untuk Pembangkit Listrik Dengan Pemanfaatan Arus Air Sungai," vol. 1, no. 2, 2017.
- [2] R. Boli, A. Makhsud, M. Tahir, and M. Tahir, "Analisis Daya Output Dan Efisiensi Kincir Air Sudu Miring Yang Bekerja Pada Saluran Horizontal," *Gorontalo J. Infrastruct. Sci. Eng.*, vol. 1, no. 2, p. 1, 2018, doi: 10.32662/gojise.v1i2.423.
- [3] J. Prasetyo, "Kincir Bertingkat pada Pembangkit Listrik Mikrohidro," *Avitec*, vol. 1, no. 1, pp. 71–76, 2019, doi: 10.28989/avitec.v1i1.502.
- [4] A. Muliawan and A. Yani, "Analisis Daya Dan Efisiensi Turbin Air Kinetis Akibat Perubahan Putaran Runner," *Sainstek J. Sains dan Teknol.*, vol. 8, no. 1, p. 1, 2017, doi: 10.31958/js.v8i1.434.
- [5] L. Sule, A. A. Mochtar, and O. Sutresman, "Performance of undershot water wheel with bowl-shaped blades model," *Int. J. Technol.*, vol. 11, no. 2, pp. 278–287, 2020, doi: 10.14716/ijtech.v11i2.2465.
- [6] H. A. Santoso, G. E. Kusuma, S. So, and S. T. Sarena, "Perancangan dan Pembuatan Kincir Air Type Overshot Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro," pp. 145–150, 2017.
- [7] S. C. Laksana, A. Fahrudin, and A. Akbar, "Pengaruh Sudut Pengarah Aliran Pada Turbin Air Crossflow Tingkat Dua Terhadap Putaran dan Daya," *R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur) J.*, vol. 3, no. 1, p. 35, 2018, doi: 10.21070/r.e.m.v3i1.1591.

- [8] N. E. Falabibla, "Bab II Landasan Teori," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 8–24, 2019.
- [9] M. M. Saleh and E. Widodo, "Analisa Kinerja Aliran Fluida dalam Rangkaian Seri dan Paralel dengan Penambahan Tube Bundle pada Pompa Sentrifugal," *R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur) J.*, vol. 3, no. 2, p. 71, 2019, doi: 10.21070/r.e.m.v3i2.1884.
- [10] R. A. Luhung, D. Mugisidi, A. Fikri, and O. Heriyani, "Penguujian Kinerja Detridge Wheel sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air Head Sangat Rendah," *Pros. Semin. Nas. Teknoka*, vol. 3, no. 2502, p. 44, 2019, doi: 10.22236/teknoka.v3i0.2912.
- [11] E. Quaranta, "Stream water wheels as renewable energy supply in flowing water: Theoretical considerations, performance assessment and design recommendations," *Energy Sustain. Dev.*, vol. 45, pp. 96–109, 2018, doi: 10.1016/j.esd.2018.05.002.
- [12] D. Mugisidi, I. N. Fauzi, O. Heriyani, Y. Djeli, E. Aidhilhan, and P. H. Gunawan, "Development of the Dethridge Wheel Blade Shape for Hydropower Generation in Irrigation Canals in Indonesia," *J. Adv. Res. Fluid Mech. Therm. Sci.*, vol. 98, no. 2, pp. 146–156, 2022, doi: 10.37934/arfmts.98.2.146156.
- [13] W. Feng, Y. Zheng, A. Yu, and Q. Tang, "Experimental and Numerical Analysis of the Clearance Effects between Blades and Hub in a Water Wheel Used for Power Generation," *Water*, vol. 14, no. 22, p. 3640, 2022, doi: 10.3390/w14223640.
- [14] J. Emitor, J. Teknik, E. Fakultas, and U. M. Surakarta, "PEMANFAATAN Pemandian Umum Untuk Pembangkit Tenaga Listrik Mikrohidro ( PLTMh ) Menggunakan Kincir Tipe," *J. Emit.*, vol. 12, no. 01, 2012.
- [15] A. Junaidi, Rinaldi, and A. Hendri, "Model Fisik Kincir Air Sebagai Pembangkit Listrik," *Jom FTEKNIK*, vol. 1, no. 2, pp. 1–9, 2014, [Online]. Available: <https://media.neliti.com/media/publications/206233-model-fisik-kincir-air-sebagai-pembangki.pdf>.
- [16] M. H. Nguyen, H. Jeong, and C. Yang, "A study on flow fields and performance of water wheel turbine using experimental and numerical analyses," *Sci. China Technol. Sci.*, vol. 61, no. 3, pp. 464–474, 2018, doi: 10.1007/s11431-017-9146-9.
- [17] A. Tevata and C. Inprasit, "The effect of paddle number and immersed radius ratio on water wheel performance," *Energy Procedia*, vol. 9, pp. 359–365, 2011, doi: 10.1016/j.egypro.2011.09.039.
- [18] O. Heriyani, D. Mugisidi, M. Y. Djeli, and Y. Iqbal, "EFFECT OF CANAL BASE GEOMETRY ON DETHRIDGE," vol. 1, no. 4, pp. 41–48, 2020.
- [19] A. Buku and I. L. K. Wong, "A laboratory scale curve bladed undershot water wheel characteristic as an irrigation power," *Int. J. Mech. Eng. Technol.*, vol. 9, no. 9, pp. 1048–1054, 2018.
- [20] S. Wahyudi and D. N. Cahyadi, "Pengaruh Variasi Tebal Sudu Terhadap Kinerja Kincir Air Tipe Sudu Datar," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 3, no. 2, pp. 337–342, 2012.
- [21] I. G. Widodo, A. Sunarso, A. Agato, H. Sihombing, and D. Sulistiono, "Pengaruh Kedalaman Pencelupan Sudu Kincir Terhadap Unjuk Kerja Kincir Air," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 13, no. 2, p. 62, 2018, doi: 10.32497/rm.v13i2.1246.
- [22] M. Z. Kadir and Bambang, "Pengaruh Tinggi Sudu Kincir Air Terhadap Daya Dan Efisiensi Yang Dihasilkan," *Semin. Nas. Tah. Tek. Mesin*, pp. 13–15, 2010.
- [23] O. Heriyani, D. Mugisidi, R. A. Luhung, M. Y. Djeli, and A. Fikri, "Performance of dethridge wheel as low head power generator and loss analysis," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1373, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1373/1/012012.
- [24] D. Mugisidi, O. Heriyani, R. A. Luhung, and M. R. D. Andrian, "Utilization of the dethridge wheel as a low head power generator and loss analysis," *MATEC Web Conf.*, vol. 204, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1051/mateconf/201820404003.
- [25] E. Quaranta and R. Revelli, "Performance characteristics, power losses and mechanical power estimation for a breastshot water wheel," *Energy*, vol. 87, pp. 315–325, 2015, doi: 10.1016/j.energy.2015.04.079.
- [26] E. Quaranta and R. Revelli, "Output power and power losses estimation for an overshot water wheel," *Renew. Energy*, vol. 83, pp. 979–987, 2015, doi: 10.1016/j.renene.2015.05.018.
- [27] L. Tang, S. Yuan, Y. Tang, and Z. Gao, "Performance characteristics in runner of an impulse water turbine with splitter blade," *Processes*, vol. 9, no. 2, pp. 1–14, 2021, doi: 10.3390/pr9020303.
- [28] A. Židonis, D. S. Benzon, and G. A. Aggidis, "Development of hydro impulse turbines and new opportunities," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 51, pp. 1624–1635, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.07.007.
- [29] D. S. Benzon, G. A. Aggidis, and J. S. Anagnostopoulos, "Development of the Turgo Impulse turbine: Past and present," *Appl. Energy*, vol. 166, pp. 1–18, 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.12.091.
- [30] H. P. Prabawa, D. Mugisidi, and O. Heriyani, "Pengaruh Variasi Ukuran Diameter Nozzle terhadap Daya dan Efisiensi Kincir Air Sudu Datar," *Pros. Semnastek*, no. November, 2016.
- [31] M. Denny, "The efficiency of overshot and undershot waterwheels," *Eur. J. Phys.*, vol. 25, no. 2, pp. 193–202, 2004, doi: 10.1088/0143-0807/25/2/006.

- [32] Y. Nishi, T. Inagaki, Y. Li, R. Omiya, and J. Fukutomi, "Study on an undershot cross-flow water turbine," *J. Therm. Sci.*, vol. 23, no. 3, pp. 239–245, 2014, doi: 10.1007/s11630-014-0701-y.
- [33] L. Jasa, A. Priyadi, and M. H. Purnomo, "An alternative model of overshot waterwheel based on a tracking nozzle angle technique for hydropower converter," *Int. J. Renew. Energy Res.*, vol. 4, no. 4, pp. 1013–1019, 2014.
- [34] A. Buku, H. Calvin, P. Tiwow, and B. Tangaran, "Undershot Flat Plate Water Wheel Performance as a Water Lifter," *Int. J. Mech. Eng. Technol.*, vol. 10, no. 10, pp. 158–165, 2019, [Online]. Available: <http://www.iaeme.com/IJMET/index.asp158http://www.iaeme.com/ijmet/issues.asp?JType=IJMET&VType=10&IType=10http://www.iaeme.com/IJMET/issues.asp?JType=IJMET&VType=10&IType=10>.
- [35] I. W. B. Saputra, A. I. Weking, and L. Jasa, "Rancang Bangun Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pltmh) Menggunakan Kincir Overshot Wheel," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 16, no. 2, p. 48, 2017, doi: 10.24843/mite.2017.v16i02p09.
- [36] A. Syuriadi and A. Nidhar, "Pengujian variasi jumlah dan sudut bilah kincir air tipe breastshot," *Politeknologi*, vol. 14, no. 3, 2015.
- [37] L. Tang, S. Yuan, Y. Tang, and Z. Qiu, "Optimization of impulse water turbine based on GA-BP neural network arithmetic," *J. Mech. Sci. Technol.*, vol. 33, no. 1, pp. 241–253, 2019, doi: 10.1007/s12206-018-1224-3.