

Pengaruh Variasi Bentuk Bilah dan Debit Air Terhadap Unjuk Kerja Turbin Kinetis

Hafizh Abdul¹, Sudarno², Wahidin Nuriana³, Hasan Basri⁴
1,2,3,4Universitas Merdeka Madiun

¹²³⁴Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Merdeka Madiun

e-mail: *1hafizhkedol@gmail.com, 2sudarno@unmer-madiun.ac.id, 3nuriana@unmer-madiun.ac.id, 4hasanbasri@unmer-madiun.ac.id

Abstrak: Meningkatnya kebutuhan akan energi listrik dan keterbatasan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan telah mendorong pemanfaatan tenaga air melalui turbin kinetik. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dampak perubahan morfologi bilah dan kecepatan air terhadap efisiensi turbin kinetik. Variasi yang digunakan pada penelitian ini merupakan turbin kinetik sumbu vertikal dengan bilah datar, bilah mangkuk, dan bilah sudut, dan juga variasi debit aliran air yaitu sebesar 117 Lpm, 122 Lpm, 127 Lpm, 132 Lpm. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan parameter pengujian meliputi tegangan, arus, daya listrik, dan efisiensi turbin. Hasil penelitian menunjukkan bentuk bilah dan kecepatan air secara bersamaan memberikan dampak besar terhadap kinerja turbin. Bentuk bilah mangkuk dengan efisiensi tertinggi yaitu sebesar 40,07%, bilah datar dengan efisiensi 37,86%, dan bilah sudut sebesar 31,12%.

Kata Kunci: Turbin Kinetik, Bentuk Bilah, Debit Air, Efisiensi

Abstract: The growing demand for electrical energy and the limited availability of environmentally friendly renewable energy sources have driven the utilization of hydropower trough kinetic turbines. The study aims to examine the impact of change in blade morphology and waterflow velocity on the efficiency of kinetic turbines. The variations used in this study involved vertical axis kinetic turbines with flat blades, bowl shaped blades, and angled blades, as well as variations in water flow rate 117 Lpm, 122 Lpm, 127 Lpm, 132 Lpm. This study employed an experimental method, with test parameters including voltage, current, electrical power, and turbine efficiency. The results of the study indicate that the blade shape and waterflow velocity together have a significant impact on turbine performance. The bowl shaped blades achieved the highest efficiency at 40,07%, the flat blades at 37,86%, and the angled blades at 31,12%.

Keywords: Kinetic Turbine, Blade Shape, Water Flow Rate, Efficiency

Meningkatnya permintaan akan energi listrik akibat pertumbuhan populasi dan kemajuan teknologi memerlukan penyediaan sumber energi yang berkelanjutan. Ketergantungan pada energi fosil yang semakin berkurang dan dampak negatif yang ditimbulkan oleh penggunaannya juga menjadi perhatian penting. Salah satu sumber energi dari air yang dapat digunakan adalah melalui pembangkit listrik tenaga air (PLTA) maupun skala kecil seperti mikrohidro. Energi air memiliki beberapa keunggulan, termasuk ketersediaannya yang melimpah, sifat yang ramah lingkungan, dan kemampuannya untuk diubah menjadi energi mekanik atau listrik menggunakan turbin air[1]. Turbin kinetis merupakan energi yang memanfaatkan dari aliran air tanpa memerlukan ketinggian yang signifikan. Hal ini menjadikannya ideal untuk diterapkan di wilayah dimana aliran langsung mengalir ke bilah turbin, sehingga menghasilkan putaran lalu dikonversi menjadi energi listrik. Beberapa parameter utama yang mempengaruhi kinerja turbin kinetis yaitu desain bilah meliputi bentuk bilah, dan debit aliran air. Debit aliran air sangat penting karena menentukan jumlah energi kinetik dari fluida yang masuk kedalam turbin, sehingga secara langsung berpengaruh pada daya dan efisiensi yang dihasilkan[2].

Selain kecepatan aliran, bentuk bilah juga menjadi elemen penting untuk menunjukkan performa kinerja turbin kinetik. Desain bilah yang ideal dapat meningkatkan efisiensi turbin dalam menangkap aliran air, sehingga proses konversi energi menjadi lebih efektif[3]. Selain itu, peningkatan kecepatan aliran umumnya dapat meningkatkan output daya serta efisiensi turbin. Namun hal ini tidak selalu terjadi dan sangat bergantung pada sifat aliran serta desain dari turbin itu sendiri[4]. Bilah turbin berfungsi untuk mengubah energi kinetik dari aliran air menjadi energi mekanik, yang selanjutnya dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik. Desain bilah memiliki dampak signifikan terhadap efektivitas proses konversi energi. Hal ini disebabkan karena perubahan dalam bentuk dan jumlah bilah akan mempengaruhi interaksi fluida dengan permukaan bilah,

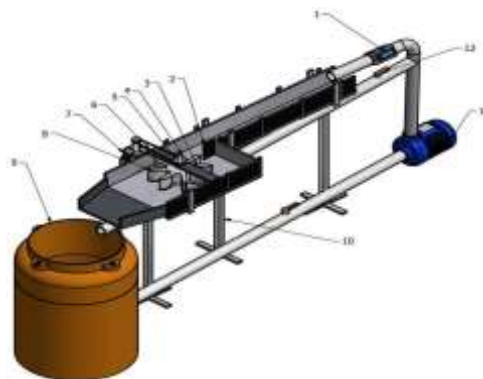
yang secara langsung berpengaruh pada kinerja turbin. Selain itu, debit aliran air sebagai parameter operasional juga menentukan seberapa banyak energi yang dapat diubah. Oleh karena itu, pemahaman mengenai cara kerja aliran air dan metode pembuatan bilah adalah dua aspek krusial yang mempengaruhi efisiensi turbin itu sendiri[5].

Bentuk bilah memiliki dampak signifikan terhadap kinerja turbin kinetik. Hasil dari pengujian eksperimen menunjukkan bahwa parameter seperti kecepatan rotasi (rpm), efisiensi, torsi, dan daya sangat dipengaruhi oleh desain bilah yang diterapkan. Desain bilah yang dapat membagi aliran air terbukti efektif dibandingkan dengan jenis lainnya, karena mampu mengatur aliran fluida dengan lebih baik selama proses konversi energi. Oleh karena itu, modifikasi dan bentuk sudut bilah berpengaruh besar terhadap kinerja turbin serta jumlah daya yang dihasilkan [6]. Dalam sistem pembangkit listrik tenaga air, debit aliran memainkan peran krusial dalam kinerja turbin. Debit aliran debit air menentukan jumlah energi kinetik yang dapat diubah menjadi energi mekanik oleh turbin. Dengan meningkatnya debit aliran, turbin bisa menyerap lebih banyak energi, lalu meningkatkan efisiensi hingga mencapai batas optimal. Pada saat debit aliran rendah, turbin tidak berfungsi secara maksimal sehingga efisiensinya berkurang. Sebaliknya, ketika debit aliran mendekati kapasitas nominal, efisiensinya cenderung meningkat karena aliran air menjadi lebih stabil dan memenuhi seluruh rakitan turbin. Oleh karena itu, untuk memastikan turbin beroperasi pada tingkat terbaik dan menghasilkan energi maksimal, pengendalian debit aliran air sangatlah penting[7]. Debit aliran air adalah elemen penting yang berpengaruh terhadap kinerja turbin, karena berkaitan langsung dengan energi kinetik fluida. Umumnya, peningkatan debit aliran dapat memperbaiki performa turbin melalui transfer energi yang lebih besar. Ini tidak selalu berbanding lurus dengan peningkatan efisiensi. Dalam situasi tertentu, aliran yang terlalu besar dapat menyebabkan kehilangan energi. Oleh karena itu, diperlukan debit aliran air untuk mencapai maksimal[8,9].

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa optimasi desain sudu dan pengaturan debit aliran merupakan aspek penting dalam meningkatkan kinerja turbin kinetis. Oleh karena itu, penelitian mengenai pengaruh variasi bentuk sudu dan debit air terhadap unjuk kerja turbin kinetis perlu dilakukan untuk memperoleh konfigurasi yang paling efisien. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi turbin kinetis sebagai solusi energi alternatif, khususnya pada daerah yang memiliki potensi aliran air namun belum dimanfaatkan secara optimal.

METODE

Pengujian dilakukan pada setiap kombinasi variasi untuk mendapatkan data secara menyeluruh mengenai kinerja turbin. Proses penelitian dimulai dengan perancangan dan pembuatan bilah serta pemasangan turbin kinetis. Pengujian dimulai dengan mengalirkan aliran air melalui pompa sambil mengatur debit menggunakan katup kontrol. Parameter yang diukur mencakup tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator dengan menggunakan multimeter untuk menghitung output daya listrik yang dihasilkan. Daya dihitung berdasarkan debit aliran sehingga efisiensi turbin dapat ditentukan sebagai rasio antara daya input dan daya output. Data hasil pengujian kemudian dianalisis secara deskriptif untuk memahami hubungan antara variasi bentuk bilah dan debit aliran terhadap daya listrik serta efisiensi turbin. Hasil analisis disajikan dalam format grafik untuk mempermudah dalam pemahaman data serta penarikan kesimpulan mengenai kinerja yang dihasilkan oleh turbin.



Gambar 1 Skema Instalasi Turbin

Tabel 1 Tools turbin

No	Keterangan Gambar
1	Flow meter
2	Pengarah aliran
3	Dudukan poros
4	Poros
5	Pully
6	Fanbelt
7	Generator
8	Runner
9	Tandon air
10	Rangka turbin
11	Pompa
12	Katup penyetel

Tabel 2 Variabel dan Variasi Pengujian

No.	Variabel	Variasi
1	Bentuk Sudu	Sudu Datar
		Sudu Mangkuk
		Sudu Sudut
2	Debit Air	117 Lpm
		122 Lpm
		127 Lpm
		132 Lpm

Perhitungan efisiensi (η) sistem turbin dilakukan dengan membandingkan daya input berupa daya air dengan daya output dari generator. Daya air dipengaruhi oleh debit dan tinggi jatuh air, sedangkan daya output itu hasil konversi energi oleh turbin dan generator. Efisiensi diperoleh dari perbandingan daya output terhadap daya input, dimana semakin besar nilai daya output yang dihasilkan, maka efisiensi sistem turbin semakin tinggi, dan sebaliknya jika terjadi banyak kehilangan energi maka efisiensinya akan menurun, berikut persamaan yang digunakan untuk mendapatkan efisiensi sistem turbin pada penelitian ini.

$$\eta_{ST} = \frac{\text{Daya Keluaran Generator}}{\text{Daya Air}} \times 100\% = \frac{P_G}{P_A} \times 100\% \quad (1)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan gambar 1 grafik tegangan listrik cenderung meningkat seiring bertambahnya debit aliran air dari 117 Lpm hingga 132 Lpm pada seluruh variasi bentuk sudu. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar debit, maka energi kinetik fluida yang mengenai sudu semakin besar sehingga meningkatkan putaran turbin dan tegangan yang dihasilkan. Fenomena ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa debit air berpengaruh langsung terhadap daya dan kinerja turbin karena berkaitan dengan energi fluida yang masuk ke sistem[10].

Ditinjau dari bentuk sudu, sudu mangkuk menghasilkan tegangan tertinggi dibandingkan sudu datar dan sudu sudut. Hal ini disebabkan bentuk sudu mangkuk mampu menangkap aliran air secara lebih optimal sehingga transfer momentum fluida menjadi lebih efektif. Hal ini sesuai dengan penelitian yang menyatakan bahwa bentuk sudu merupakan faktor utama yang mempengaruhi daya dan efisiensi turbin kinetik karena menentukan gaya tangensial dan putaran turbin[11].

Sebaliknya, sudu sudut menunjukkan nilai tegangan terendah pada setiap variasi debit. Hal ini mengindikasikan adanya kehilangan energi akibat aliran yang tidak berfokus secara maksimal pada sudu. Selain itu, meskipun tegangan meningkat dengan debit, hubungan tersebut tidak sepenuhnya linier, yang kemungkinan dipengaruhi oleh turbulensi aliran dan kerugian mekanis dalam sistem turbin. Hal ini juga didukung oleh penelitian yang menyebutkan bahwa kinerja turbin dipengaruhi oleh berbagai parameter seperti debit, bentuk sudu, dan karakteristik aliran[12]. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa debit aliran air dan bentuk sudu memiliki pengaruh signifikan terhadap tegangan listrik, dimana kombinasi debit tinggi dan sudu mangkuk menghasilkan performa terbaik.

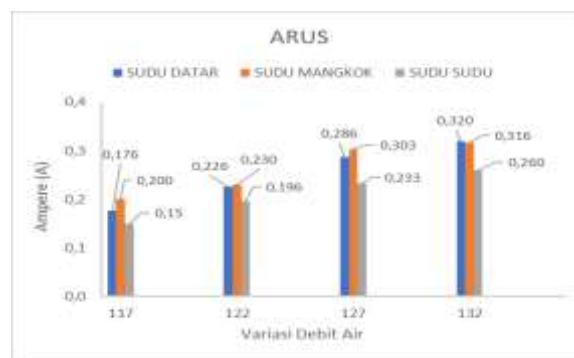


Gambar 2 Hubungan debit aliran air dan bentuk sudu terhadap tegangan listrik

Berdasarkan grafik hubungan antara variasi debit air dan arus listrik terlihat bahwa nilai arus cenderung meningkat seiring bertambahnya debit aliran air pada semua variasi bentuk sudu. Arus tertinggi diperoleh pada debit 117 Lpm. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan debit aliran air berkontribusi terhadap peningkatan energi kinetik fluida yang diterima sudu, sehingga menghasilkan putaran turbin yang lebih tinggi dan berdampak pada meningkatnya arus listrik yang dihasilkan generator.

Ditinjau dari bentuk sudu, sudu mangkuk menghasilkan arus listrik terbesar dibandingkan sudu datar dan sudu sudut pada setiap variasi debit, dengan nilai maksimum sebesar 0,316 A pada debit 132 Lpm. Hal ini disebabkan bentuk sudu mangkuk mampu menangkap aliran air secara lebih efektif, sehingga menghasilkan gaya dorong yang lebih besar dan meningkatkan performa generator. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa desain sudu yang mampu mengoptimalkan interaksi fluida akan meningkatkan output, khususnya arus dan daya yang dihasilkan turbin[13].

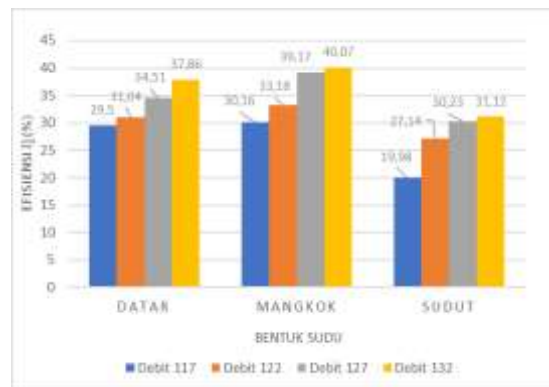
Sementara itu, sudu sudut menunjukkan nilai arus paling rendah pada seluruh variasi debit. Hal ini mengindikasikan bahwa bentuk sudu tersebut kurang optimal dalam mengkonversi energi aliran air menjadi energi mekanik, sehingga arus listrik yang dihasilkan lebih kecil. Meskipun demikian, peningkatan debit tetap menunjukkan tren kenaikan arus, walaupun tidak sepenuhnya linier akibat adanya faktor kerugian energi seperti turbulency dan hambatan mekanis. Hal ini juga didukung oleh penelitian yang menyebutkan bahwa performa turbin dipengaruhi oleh kombinasi antara debit aliran dan desain sudu dalam menentukan efisiensi konversi energi[14]. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa debit aliran air dan bentuk sudu memiliki pengaruh signifikan terhadap arus listrik yang dihasilkan, dimana sudu mangkuk pada debit tinggi memberikan performa terbaik pada sistem turbin kinetis.



Gambar 3 Hubungan debit air dan arus listrik

Efisiensi turbin pada seluruh variasi debit menunjukkan tren meningkat seiring perubahan bentuk sudu, dimana sudu sudut selalu menghasilkan efisiensi terendah dan sudu mangkuk memberikan nilai tertinggi pada setiap debit, debit peningkatan dari 19,98% mencapai 30,16% (117 Lpm) hingga mencapai 31,12% sampai 40,07% (132 Lpm), sehingga menunjukkan bahwa bentuk sudu berperan signifikan dalam mengoptimalkan konversi energi aliran menjadi energi mekanik dan listrik[15].

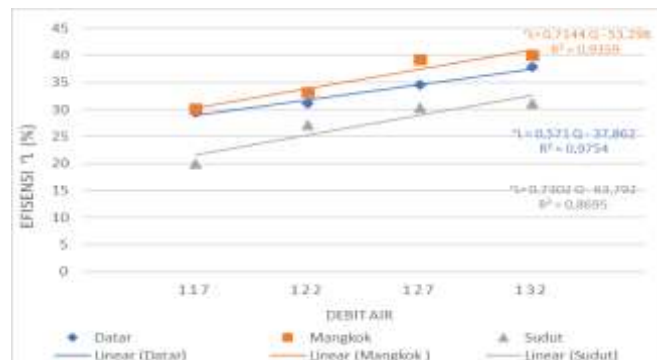
Peningkatan debit juga memperkuat nilai efisiensi pada masing – masing bentuk sudu, yang mengindikasikan bahwa semakin besar debit aliran maka energi kinetik fluida yang ditransfer ke sudu semakin besar sehingga meningkatkan performa turbin secara keseluruhan, berikut dibawah ini gambar grafik diagram batang terkait efisiensi.



Gambar 4 Hubungan bentuk sudu dan efisiensi

Efisiensi turbin pada setiap variasi bentuk sudu menunjukan tren meningkat seiring bertambahnya debit aliran air, dimana pada sudu sudut efisiensi naik dari 19,98% (117 Lpm) hingga 31,12% (132 Lpm), pada sudu datar meningkat dari 29,50% hingga 37,86%, dan pada sudu mangkok mengalami peningkatan tertinggi dari 30,16% hingga 40,07%, sehingga dapat disimpulkan bahwa baik debit maupun bentuk sudu memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja turbin, dengan sudu mangkok menunjukan performa paling optimal dalam mengonversi energi aliran menjadi energi mekanik dan listrik[16].

Selain itu, kecenderungan peningkatan efisiensi seiring kenaikan debit menunjukan bahwa semakin besar energi kinetik fluida yang masuk ke sistem, maka semakin besar pula energi yang dapat dimanfaatkan pada turbin, meskipun hubungan tersebut tidak selalu linear akibat adanya kerugian energi dalam sistem[17].



Gambar 5 Hubungan debit dan efisiensi

Variasi bentuk sudu akan berpengaruh terhadap besarnya arus dan tegangan, sehingga dalam hal ini bentuk sudu mempengaruhi daya listrik yang berpengaruh langsung terhadap efisiensi, dari gambar 4 terkait hubungan bentuk sudu dan efisiensi dapat dianalisa sebagai berikut :

- Variasi bentuk sudu berpengaruh signifikan terhadap efisiensi turbin, dimana sudu mangkok menghasilkan efisiensi tertinggi, diikuti sudu datar dan sudu sudut sebagai yang terendah. Hal ini menunjukan bahwa desain sudu yang mampu menangkap dan mengarahkan energi aliran air secara optimal akan meningkatkan kinerja konversi energi pada turbin[18].
- Variasi efisiensi pada setiap bentuk sudu dipengaruhi oleh kemampuan sudu dalam menerima dan mengubah energi kinetik aliran air menjadi energi mekanik. Peningkatan debit akan meningkatkan gaya dorong fluida terhadap sudu, sehingga putaran poros dan daya yang dihasilkan juga meningkat, yang pada akhirnya berdampak pada peningkatan efisiensi sistem turbin[19].
- Pada sudu mangkok, efisiensi yang lebih tinggi disebabkan oleh kemampuan sudu dalam menampung dan memfokuskan aliran air sehingga menghasilkan gaya impuls yang lebih besar. Sebaliknya, pada sudu datar dan sudu sudut aliran air cenderung menyebar sehingga sebagian energi hilang akibat turbulency, yang menyebabkan efisiensi lebih rendah[20].

Variasi debit juga berpengaruh terhadap besarnya arus dan tegangan, sehingga dalam hal ini debit mempengaruhi daya listrik yang berpengaruh langsung terhadap efisiensi. Dari gambar 5 terkait hubungan debit dan efisiensi dapat dianalisa sebagai berikut :

- a. Peningkatan debit aliran air berbanding lurus dengan peningkatan efisiensi turbin. Hal ini disebabkan oleh bertambahnya energi kinetik fluida yang meningkatkan putaran turbin, sehingga arus dan tegangan generator meningkat dan berdampak langsung pada kenaikan daya listrik serta efisiensi sistem[21].
- b. Variabel debit aliran air memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan daya turbin, dimana semakin besar debit maka semakin besar massa dan kecepatan aliran yang mengenai sudu, sehingga gaya dorong meningkat dan menghasilkan daya mekanik yang lebih tinggi. Fenomena ini sesuai dengan prinsip dasar konversi energi fluida pada turbin air[22].
- c. Pada berbagai bentuk sudu, peningkatan debit aliran tetap menunjukkan kecenderungan peningkatan daya yang dihasilkan, yang mengindikasikan bahwa semakin besar energi kinetik aliran air maka semakin besar pula energi yang dapat ditangkap dan dikonversi oleh turbin menjadi energi mekanik dan listrik[23].
- d. Secara teoritis, energi kinetik aliran air dipengaruhi oleh massa dan kecepatan aliran, sehingga pada debit yang lebih besar energi yang tersedia untuk dikonversi juga meningkat. Hal ini memperkuat bahwa performa turbin sangat bergantung pada karakteristik aliran fluida yang menumbuk sudu dalam proses konversi energi[24].

PENUTUP

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan terhadap pengaruh variasi debit aliran dan bentuk sudu terhadap kinerja turbin kinetik, maka dapat dirumuskan beberapa kesimpulan yang mencerminkan hubungan antara parameter yang diuji dengan efisiensi sistem.

- a. Bentuk sudu memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi turbin, dimana sudu mangkok menunjukkan kinerja terbaik dengan efisiensi tertinggi, diikuti oleh sudu datar, sedangkan sudu sudut menghasilkan efisiensi terendah. Perbedaan ini disebabkan oleh kemampuan masing – masing bentuk sudu dalam menangkap dan mengarahkan aliran air[25].
- b. Peningkatan debit aliran air memberikan pengaruh signifikan terhadap kinerja turbin, khususnya dalam meningkatkan efisiensi sistem. Semakin besar debit aliran, maka energi kinetik fluida yang diterima sudu semakin besar, sehingga meningkatkan gaya dorong, putaran poros, serta arus dan tegangan yang dihasilkan oleh generator[26].
- c. Efisiensi turbin kinetik secara langsung dipengaruhi oleh dua faktor utama yaitu debit aliran air dan bentuk sudu[27].
- d. Penelitian ini memiliki kelebihan pada analisis pengaruh kombinasi antara variasi debit aliran dan geometri sudu terhadap efisiensi turbin kinetik secara eksperimental, sehingga dapat memberikan gambaran mengenai konfigurasi sudu yang lebih efektif dalam meningkatkan performa turbin.
- e. Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan, di antaranya pengujian yang hanya dilakukan pada rentang debit tertentu serta belum mempertimbangkan faktor lain seperti jumlah sudu, material sudu, dan pengaruh turbulency aliran secara lebih mendalam.
- f. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengembangan dengan variasi parameter yang lebih luas, seperti penggunaan bentuk dan jumlah sudu yang berbeda, variasi material sudu, serta pengujian pada kondisi aliran yang lebih beragam agar memperoleh performa turbin kinetik yang lebih optimal dan efisien.

.DAFTAR RUJUKAN

- Endraswara. (2018). *Antropologi Sastra Lisan: Pespektif, Teori, dan Praktik Pengkajian*. Jakarta: Yayasan Pustaka Obor Indonesia.
- [1] Liu Y. *Hydropower — A New Open Access Journal*. Published online 2026:1-2.
 - [2] DARWIS M. Analisis Pengaruh Pembukaan Katup Terhadap Kinerja Turbin Air. *Knowl J Inov Has Penelit dan Pengemb*. 2024;3(4):365-376. doi:10.51878/knowledge.v3i4.2672
 - [3] Yani A, Mihdar M, Erianto R. Pengaruh Variasi Bentuk Sudu Terhadap Kinerja Turbin Air Kinetik (Sebagai Alternatif Pembangkit Listrik Daerah Pedesaan). *Turbo J Progr Stud Tek Mesin*. 2017;5(1):1-6. doi:10.24127/trb.v5i1.113
 - [4] Solihat I, Astuti ET, Rudiat H. Analisa Pengujian Turbin Air Jenis Crossflow Terhadap Variasi Debit. *J Tek Mesin Cakram*. 2019;2(1):23. doi:10.32493/jtc.v2i1.2812

- [5] Santoso W, Amni UM. Eksperimen Turbin Air Very Low Head dengan Variasi Jumlah Sudu dan Variasi Debit. 2024;25(September):29-39. doi:10.33556/jstm
- [6] Pratama PA, Malyadi M, Wicaksono YA. Studi Eksperimental Variasi Bentuk Sudu Dan Sudut Terhadap Kinerja Turbin Pelton. *AutoMech J Tek Mesin*. 2021;1(01):31-38. doi:10.24269/jtm.v1i01.4254
- [7] Darsono FB, Widodo RD, Rusiyanto, Nurdin A. Analysis Of the Effect of Flow Rate and Speed on Four Blade Tubular Water Bulb-Turbine Efficiency Using Numerical Flow Simulation. *J Adv Res Fluid Mech Therm Sci*. 2022;90(2):1-8. doi:10.37934/arfmts.90.2.18
- [8] Noor IRPM. Analisa Pengaruh Ketidakstabilan Debit Air Dan Curah Hujan Terhadap Efisiensi Daya Pada PLTA. 2025;25(2):169-180.
- [9] Mugisidi D. Pengaruh Bentuk Turbin terhadap Daya dan Efisiensi. 2021;6(2502):324-329.
- [10] Boimau K, Nurhayati N, Selan RN. Pengaruh Variasi Ketinggian Reservoir Terhadap Daya Turbin Air Impuls Dengan Sudu Bolak-Balik. *J Mesin Nusant*. 2020;3(1):9-16. doi:10.29407/jmn.v3i1.14577
- [11] Syahrul KA, Sahbana MA. Pengaruh Jenis Sudu terhadap Daya dan Efisiensi Turbin Air Kinetik Poros Horizontal. *Proton*. 2018;10(2):20-24.
- [12] Pietersz, R., Soekono, R., & Wahyudi S. Pengaruh Jumlah Sudu terhadap Kinerja Turbin Kinetik Roda Tunggal. *urnal Rekayasa Mesin Vol4, No3 Tahun 2013* 220-226. 2013;4(3):220-226.
- [13] Assefa EY, Tesfay AH. Effect of Blade Profile on Flow Characteristics and Efficiency of Cross-Flow Turbines. *Energies*. 2025;18(12):1-33. doi:10.3390/en18123203
- [14] Guo P, Wang Z, Sun L, Luo X. Characteristic analysis of the efficiency hill chart of Francis turbine for different water heads. *Adv Mech Eng*. 2017;9(2):1-8. doi:10.1177/1687814017690071
- [15] Chica E, Pérez F, Rubio-Clemente A, Agudelo S. Design of a hydrokinetic turbine. *WIT Trans Ecol Environ*. 2015;195:137-148. doi:10.2495/ESUS150121
- [16] Adhikari R, Wood D. The design of high efficiency crossflow hydro turbines: A review and extension. *Energies*. 2018;11(2):1-18. doi:10.3390/en11020267
- [17] Nuantong W, Taechajedcadarungsri S. Flow Simulations on Blades of Hydro Turbine. *Int J Renew Energy*. 2009;4(2):1-5.
- [18] Husen A. Uji Eksperimental Bentuk Sudu-Sudu Pada Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Air Turbin Pelton. *Presisi*. 2021;23(2):32-42.
- [19] Abeykoon C. Modelling and optimisation of a Kaplan turbine — A comprehensive theoretical and CFD study. *Clean Energy Syst*. 2022;3(September):100017. doi:10.1016/j.cles.2022.100017
- [20] Iswahyudi S, Sutrisno, Prajitno, Wibowo SB. Airfoil types effect on geometry and performance of a small-scale wind turbine blade design. *J Appl Eng Sci*. 2020;18(1):132-139. doi:10.5937/jaes18-23413
- [21] Wulandari TI, Herawati H, Yulianto E. Pengaruh Debit Air Dan Bukaannya Terhadap Kinerja Dari Turbin Pelton Skala Laboratorium. Published online 2022:1-7.
- [22] Sumarjo J, Purnomo SS, Bangsa IA, et al. Reliability-based optimization for energy refurbishment of a social housing building. *Energies*. 2020;13(1):1-18. doi:10.3390/w12071914
- [23] Djoko Wahyudi, Prasetio DHT, Noor MF, Mustakim. Unjuk Kerja Turbine Archimedes Screw pada PLTMH dengan Variasi Debit Air dan Kemiringan Poros. *J Flywheel*. 2022;13(2):28-34. doi:10.36040/flywheel.v13i2.5643
- [24] Sumarjo J, Purnomo SS, Bangsa IA, Santoso DB. Implementasi Teknologi Kinetik Turbin Sebagai Penunjang Kebutuhan Energi Di Desa Tirtasari. *SELAPARANG J Pengabdian Masy Berkemajuan*. 2021;4(2):393. doi:10.31764/jpmb.v4i2.4459
- [25] Ujiburrahman U, Soenoko R, Choiron MA. Pengaruh Variasi Lebar Sudu Mangkok terhadap Kinerja Turbin Kinetik Poros Vertikal. *Turbo J Progr Stud Tek Mesin*. 2019;8(1):79-87. doi:10.24127/trb.v8i1.925
- [26] K. A. Yudha LS. Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha. *J Pendidik Tek Mesin Undiksha*. 2025;13(1):14-21. <http://10.0.93.79/jptm.v10i2.51606>
- [27] Ji Y, Song H, Xue Z, Li Z, Tong M, Li H. A Review of the Efficiency Improvement of Hydraulic Turbines in Energy Recovery. *Processes*. 2023;11(6). doi:10.3390/pr11061815