

ANALISIS MEKANISME TURBIN PEMBANGKIT LISTRIK BERTENAGAKAN AIR

Irpan Rahmawan^{1*}, Agus Solehudin²

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sangga Buana,
Jl. PHH. Mustofa No. 68, Bandung 40124

Abstrak

Seperti yang peneliti ketahui kebutuhan listrik merupakan sumber energi yang sangat penting bagi kehidupan manusia baik untuk kegiatan industri, kegiatan komersial maupun dalam kehidupan sehari-hari. Mengingat begitu besar dan pentingnya manfaat energi listrik sedangkan sumber energi pembangkit listrik terutama yang berasal dari sumber daya terbaru keberadaannya terbatas. Salah satu pusat pembangkit tenaga yang menghasilkan energi listrik adalah PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air) salah satunya Bendungan Jati Luhur yang berada di Purwakarta Jawa Barat Indonesia. Oleh karena itu peneliti menganalisis kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Air dengan metode Interview sekaligus wawancara dengan teknik pengumpulan data dan salah satu lainnya dengan metode Observasi (Pengamatan). Setelah melakukan dan menganalisis di dapat data untuk pembangkit Listrik tenaga air tipe Turbin Francis memiliki daya turbin maksimal yang tercapai sebesar 35,2 MW yaitu pada debit $46.7\text{m}^3/\text{s}$ dari ketinggian 77 m pada putaran 272.7 rpm, torsi maksimum yang tercapai 66.640 N dengan frekuensi 50 Hz, daya turbin (Nt) adalah $35.239.820$ watt.

Kata kunci: Head, Pembangkit Listrik Tenga Air, Turbin Francis

Abstract

[*Analysis of Hydro-Powered Turbine Mechanism*] As researchers know, electricity is a very important energy source for human life both for industrial activities, commercial activities and in everyday life. Given the enormous and important benefits of electrical energy while power generation energy sources, especially those derived from renewable resources, are limited in existence. One of the power generation centres that produces electrical energy is PLTA (Hydroelectric Power Plant), one of which is Jati Luhur Dam located in Purwakarta, West Java Indonesia. Therefore, the researcher analysed the performance of the Hydropower Plant with the Interview method as well as interviews with data collection techniques and one of the others with the Observation method. After doing and analysing the data obtained for the Francis Turbine type hydroelectric power plant has a maximum turbine power achieved of 35.2 MW, namely at a discharge of $46.7\text{m}^3/\text{s}$ from a height of 77 m at a rotation of 272.7 rpm, the maximum torque achieved is 66 640 N with a frequency of 50 Hz, turbine power (Nt) is $35.239.820$ watts.

Keywords: Head, Hydropower Plant, Francis Turbine

1. Pendahuluan

Pada akhir-akhir ini, peningkatan jumlah penduduk semakin pesat dan disertai dengan tingkat aktivitas, mobilitas manusia yang semakin kompleks. Pembangkit tenaga listrik merupakan salah satu penyedia energi yang memiliki peranan yang sangat penting di antara penunjang-penunjang energi lain. Tenaga Listrik merupakan yang seperti yang kita ketahui merupakan sumber energi yang sangat penting dan penunjang bagi kehidupan manusia baik untuk kegiatan komersil, industry terutama kegiatan sehari atau rumah tangga.

Salah satu pusat pembangkit tenaga yang menghasilkan energi listrik adalah PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air). PLTA merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang lebih ekonomis dibandingkan dengan pembangkit listrik lainnya karena PLTA hanya membutuhkan aliran air sebagai media atau fluida kerjanya. Selain itu PLTA dibuat sebagai upaya pembaharuan energi untuk mengatasi terbatasnya minyak bumi, gas, dan batu bara.

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) merupakan salah satu solusi yang efektif dalam memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat di seluruh dunia, termasuk di Indonesia. Dengan memanfaatkan potensi sumber daya air yang melimpah, PLTA tidak hanya berkontribusi terhadap penyediaan energi yang berkelanjutan, tetapi juga mendukung upaya pengurangan emisi karbon dan perubahan iklim. Dalam konteks ini, turbin air,

*Penulis Korespondensi.

E-mail: irpan.rahmawan@yahoo.co.id

khususnya turbin Pelton, memainkan peranan penting dalam proses konversi energi potensial air menjadi energi mekanis yang kemudian diubah menjadi energi listrik. Turbin Pelton, yang dirancang untuk beroperasi pada head tinggi dan debit rendah, telah terbukti efisien dalam memanfaatkan energi kinetik dari aliran air untuk menghasilkan listrik (Tarigan et al., 2024), (Yohanes Setyawan & Tetuko, 2023).

Di Indonesia, dengan topografi yang bervariasi dan banyaknya sungai serta danau, terdapat banyak lokasi yang potensial untuk pengembangan PLTA, terutama dalam bentuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). PLTMH menawarkan solusi yang lebih kecil dan lebih terjangkau untuk daerah pedesaan yang tidak terjangkau oleh jaringan listrik utama. Dengan kapasitas yang berkisar antara 10 hingga 150 kW, PLTMH dapat memberikan pasokan listrik yang stabil dan berkelanjutan, serta mendukung pemberdayaan masyarakat lokal (Qudus et al., 2024), (Suharto et al., 2023).

Desain dan implementasi turbin mikrohidro yang tepat dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi dan output daya, menjadikannya pilihan menarik untuk pengembangan energi terbarukan di Indonesia. Penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan energi air melalui pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) dapat memenuhi kebutuhan listrik di daerah terpencil, di mana akses listrik masih terbatas (Abimanyu et al., 2023). Selain itu, optimasi desain turbin, seperti kemiringan dan jarak pitch, berkontribusi pada peningkatan efisiensi generator (Sonjaya et al., 2023). Penelitian juga menyoroti potensi ekonomi dari PLTMH, yang dapat meningkatkan kesejahteraan masyarakat dan mendukung elektrifikasi pedesaan (Muhammad Helmi Kurniawan et al., 2021). Dengan memanfaatkan sumber daya air yang melimpah, PLTMH tidak hanya berkontribusi pada penyediaan energi yang berkelanjutan tetapi juga mendorong kemandirian energi di komunitas lokal (Yunus et al., 2022).

Dalam pengembangan PLTA, pemilihan jenis turbin yang sesuai sangat penting untuk mencapai efisiensi maksimum. Turbin Pelton, misalnya, menggunakan prinsip kerja yang unik di mana air yang jatuh melalui nozzle diarahkan ke bucket turbin, menghasilkan gaya dorong yang memutar poros turbin. Desain nozzle dan bucket yang optimal dapat meningkatkan kinerja turbin secara signifikan (Yohanes Setyawan & Tetuko, 2023). Selain itu, penelitian tentang variasi desain turbin, seperti turbin crossflow dan turbin spiral, juga menunjukkan potensi untuk meningkatkan efisiensi dan daya output pada kondisi aliran air yang berbeda (Suryono et al., 2021).

Seiring dengan perkembangan teknologi dan meningkatnya kesadaran akan pentingnya energi terbarukan, penelitian dan pengembangan dalam bidang PLTA terus dilakukan. Berbagai studi telah dilakukan untuk menganalisis kinerja turbin dalam berbagai kondisi operasional, serta untuk merancang sistem yang lebih efisien dan ramah lingkungan

(Syahputra et al., 2023), (Haerun et al., 2021). Dengan demikian, PLTA, khususnya yang berbasis turbin Pelton, tidak hanya menjadi alternatif yang viable untuk memenuhi kebutuhan energi, tetapi juga berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan dan pengembangan ekonomi lokal.

Melalui pemahaman yang mendalam tentang mekanisme kerja turbin dalam PLTA, diharapkan dapat ditemukan solusi inovatif yang dapat meningkatkan efisiensi dan daya saing pembangkit listrik tenaga air di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis berbagai aspek mekanisme turbin dalam PLTA, serta mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja dan efisiensi sistem pembangkit listrik tenaga air. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan teknologi energi terbarukan di Indonesia dan mendukung upaya pencapaian target energi berkelanjutan.

2. Metode

Adapun teknik pengumpulan data yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. Interview atau Wawancara
Teknik pengumpulan data dengan sistem tatap muka secara langsung dengan sumber atau pihak yang berkompeten, untuk meminta penjelasan mengenai masalah yang dibahas dalam penelitian.
- b. Studi Pustaka
Teknik pengumpulan data melalui buku-buku, makalah dan literasi yang relevan dengan permasalahan yang dibahas.
- c. Observasi atau Pengamatan
Penelitian yang secara langsung melihat kelengkapan atau objek yang di bahas/diteliti.



Gambar 1. FlowChart

3. Hasil dan Pembahasan

Turbin air dapat digolongkan menjadi dua yaitu turbin air berdasarkan model aliran air masuk

runner dan berdasarkan bentuknya. Berikut ini akan diuraikan klasifikasi jenis turbin air.

a. Berdasar arah Aliran

a) Aliran Aksial

Pada turbin tipe ini air masuk melalui runner dan keluar sejajar dengan poros runner, Turbin Kaplan atau Propeller adalah salah satu contoh dari tipe aliran aksial. Turbin aksial ini adalah turbin yang paling banyak digunakan dengan fluida kompresible.

b) Aliran Radial

Tipe aliran ini terbagi atas sentripetasi dan sentripugal. Untuk pola sentrifugal adalah pola aliran yang menyebar dari suatu puncak, pola seperti ini terdapat pada daerah yang membentuk kerucut atau gunung api. Pola aliran radial sentripetal merupakan pola aliran yang arahnya mengumpul menuju suatu pusat.

c) Aliran Tangensial

Aliran tangensial pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) merujuk pada arah aliran air yang mengenai turbin. Dalam konteks ini, aliran tangensial berarti aliran air yang mengenai pisau turbin secara tangensial, atau menyamping, relatif terhadap sumbu rotasi turbin. Jenis turbin yang umum menggunakan prinsip aliran tangensial adalah Turbin Francis dan terutama Turbin Pelton.

b. Berdasarkan Daya

a) Mini MicroHydro

Minihydro atau pembangkit listrik mini hydro adalah sebuah sistem pembangkit listrik tenaga air skala kecil yang memanfaatkan aliran air untuk menghasilkan listrik. Sistem ini biasanya memiliki kapasitas kurang dari 10 Megawatt (MW) dan sering digunakan di area terpencil atau daerah yang tidak terjangkau oleh jaringan listrik nasional. Pembangkitan listrik dengan sistem minihydro dilakukan dengan cara mengalirkan air melalui turbin yang berputar. Putaran turbin ini kemudian akan menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik. Aliran air yang digunakan bisa berasal dari sungai kecil, irigasi, atau bahkan dari air terjun

b) Mikrohidro

Mikrohidro menawarkan solusi energi yang efektif untuk kebutuhan spesifik, menawarkan potensi besar untuk peningkatan akses energi dan pembangunan berkelanjutan di seluruh dunia, khususnya di daerah terpencil dan kurang berkembang. Mikrohidro adalah sistem pembangkit listrik tenaga air skala sangat kecil yang dirancang untuk menghasilkan listrik dengan kapasitas di bawah 100 kilowatt (kW). Sistem ini ideal untuk komunitas kecil, rumah tangga terpencil, atau aplikasi kecil lainnya di lokasi yang memiliki akses ke aliran air dengan head yang cukup. Mikrohidro dapat menyediakan solusi energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan, menawarkan alternatif yang handal dan terjangkau untuk daerah yang tidak terjangkau oleh jaringan listrik atau di mana sumber energi lain tidak praktis atau terlalu mahal.

Poros yang berputar tersebut kemudian di teruskan ke generator dengan menggunakan kopling dari generator akan menghasilkan energi listrik yang akan masuk ke

system control arus listrik sebelum dialirkan energi listrik yang akan masuk ke system control arus listriksebelu di alirkan ke rumah- rumah penduduk atau keperluan lainnya. Begitulah cara kerja secara ringkay untuk PLTMH.



Gambar 2. PLTMH

c) Minihidro

Minihidro, atau pembangkit listrik tenaga air (PLTA) mini, merujuk pada sistem pembangkit listrik yang menggunakan energi air untuk menghasilkan listrik dengan kapasitas yang lebih besar daripada sistem microhydro tetapi masih tergolong kecil jika dibandingkan dengan pembangkit listrik tenaga air skala besar. Kapasitas produksi listrik dari sistem minihidro umumnya berkisar antara 100 kilowatt (kW) hingga 1 megawatt (MW). Sistem ini merupakan solusi energi terbarukan yang ideal untuk komunitas kecil hingga menengah, industri kecil, atau daerah terpencil yang membutuhkan suplai listrik yang stabil dan berkelanjutan.

a. Macam-Macam Turbin PLTA

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah fasilitas yang mengubah energi potensial air menjadi energi listrik. Energi potensial ini umumnya berasal dari air yang terkumpul di waduk atau bendungan, yang berada di ketinggian tertentu. Ketika air dari waduk dilepaskan, ia mengalir melalui turbin, yang berputar dan menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik. Proses ini dikenal sebagai pembangkitan listrik hidroelektrik. Berikut beberapa macam turbin yang umum digunakan dalam PLTA:

Turbin Francis: Turbin ini cocok untuk digunakan pada sungai dengan ketinggian air yang berubah-ubah. Turbin Francis memiliki kemampuan untuk menghasilkan daya yang tinggi pada berbagai tingkat aliran air. Turbin ini menggabungkan prinsip aksi dan reaksi untuk menghasilkan energi.

Turbin Pelton: Turbin ini umumnya digunakan di daerah pegunungan dengan aliran sungai yang curam dan sedikit air yang tersedia. Turbin Pelton menggunakan air yang disemprotkan ke dalam ember atau corong yang terhubung ke roda air, menghasilkan tekanan tinggi yang menggerakkan roda air. Turbin ini efisien untuk ketinggian air yang tinggi dan aliran air yang rendah.

Turbin Kaplan: Turbin ini cocok untuk digunakan di sungai-sungai yang memiliki aliran air yang cukup besar tetapi dengan ketinggian air yang rendah. Turbin

ini memiliki bilah yang dapat disesuaikan, memungkinkan kinerja yang optimal pada berbagai tingkat aliran air. Hal ini membuatnya menjadi pilihan yang baik untuk PLTA dengan kondisi operasional yang beragam.

Turbin Banki (atau Crossflow): Turbin ini cocok untuk digunakan di sungai-sungai kecil atau aliran air buatan. Turbin ini memiliki desain yang sederhana dan mudah dipasang. Mereka juga dapat beroperasi pada tingkat aliran air yang rendah dan memiliki efisiensi yang cukup baik dalam memanfaatkan energi air.

Turbin Archimedes: Turbin ini umumnya digunakan dalam aplikasi skala kecil seperti mikro PLTA atau PLTA skala rumah tangga. Mereka didasarkan pada prinsip sekrop Archimedes dan cocok untuk digunakan di sungai-sungai kecil atau saluran air buatan. Turbin ini relatif mudah dirawat dan memiliki biaya instalasi yang rendah. Pilihan turbin yang tepat untuk PLTA akan bergantung pada faktor-faktor seperti ketinggian air, tingkat aliran air, dan kebutuhan daya listrik yang diinginkan. Kombinasi dari turbin-turbin di atas sering digunakan dalam pembangunan PLTA untuk memaksimalkan efisiensi dan kinerja sistem.

b. Bagian-bagian Turbin PLTA

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) terdiri dari berbagai komponen yang bekerja sama untuk mengubah energi kinetik air menjadi energi listrik. Berikut adalah beberapa bagian utama dari PLTA:

- a) **Bendungan (Dam):** Bendungan adalah struktur yang memblokir aliran alami sungai untuk membentuk waduk atau kolam penampung air. Bendungan bertujuan untuk meningkatkan tinggi air dan volume air yang tersedia untuk menghasilkan tekanan yang cukup untuk menggerakkan turbin.



Gambar 3. Bendungan Jatiluhur

- b) **Saluran Pengatur (Penstock):** Saluran pengatur, juga dikenal sebagai penstock, adalah saluran tertutup yang membawa air dari waduk atau kolam penampung ke turbin. Saluran ini sering

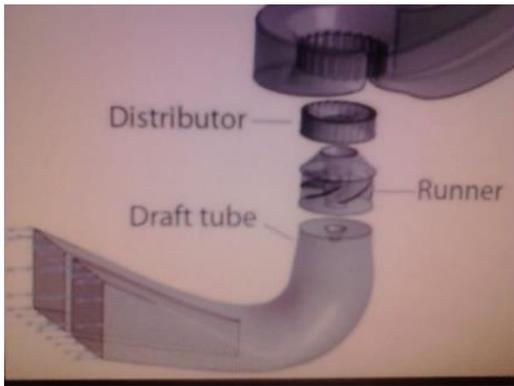
terbuat dari beton atau pipa baja yang tahan terhadap tekanan air tinggi. Penstock berperan penting dalam mengarahkan aliran air dengan kecepatan dan tekanan yang sesuai ke turbin.

- c) **Turbin** adalah perangkat utama dalam PLTA yang mengubah energi kinetik air menjadi energi mekanik melalui putaran poros. Turbin menghasilkan gerakan rotasi saat air mengalir melaluinya. Jenis turbin yang digunakan dalam PLTA bisa bervariasi tergantung pada karakteristik aliran air, seperti turbin Francis, Pelton, Kaplan, dll.
- d) **Generator** adalah perangkat yang mengubah energi mekanik dari turbin menjadi energi listrik. Ketika turbin berputar, generator menghasilkan arus listrik melalui prinsip elektromagnetik. Listrik yang dihasilkan kemudian dikirim ke jaringan listrik atau sistem penyimpanan baterai.



Gambar 4. Generator

- e) **Transformer:** Transformer adalah perangkat yang digunakan untuk meningkatkan atau menurunkan tegangan listrik sebelum listrik dikirim ke jaringan transmisi atau distribusi. Hal ini bertujuan untuk mengoptimalkan efisiensi dan distribusi listrik sesuai dengan kebutuhan.
- f) **Kontrol Sistem:** Kontrol sistem mengatur operasi dan kinerja berbagai komponen PLTA, termasuk turbin, generator, dan sistem penyaluran air. Sistem kontrol ini memantau dan mengatur aliran air, kecepatan turbin, dan produksi listrik untuk memastikan kinerja optimal dan keamanan operasi.
- g) **Sistem Penyaluran Air Kembali (Tailrace):** Setelah air melewati turbin, air yang telah digunakan dialirkan kembali ke sungai melalui sistem penyaluran air kembali atau tailrace. Sistem ini dirancang untuk memastikan aliran air kembali ke sungai dengan sedikit gangguan terhadap lingkungan sekitar.



Gambar 3. Tail race

c. Bagian-bagian Turbin Francis

a) Rumah Keong (Spiral casing)

Rumah keong berfungsi untuk mengalirkan dan membagi atau mendistribusikan air yang berasal dari pipa pesat dan di salurkan melalui sekeliling runner dengan arah tangensial dan aksial arah keluar melalui trail race.

b) Runner

Runner di pasang pada poros dengan menggunakan 12 buah baut tanam (pada plens poros) dan mur diameter M 80 (momen pengunci 500 kg/m) sepotong berisi strip (panjang 5 m) di las pada setiap mur baut, disebelah bawah runner konsentris terhadap titik pusat runner di pasang pada runner dengan baut untuk memperoleh alur air yang laminar dan menghilangkan. Pada saat air mengalir melalui runner, energi potensialnya telah berubah sebagian besarnya menjadi energi kinetik. Rumah keong mengalirkan (mendistribusikan) air ke seluruh keliling runner dan membuat air mengalir secara horizontal dengan arah tangensial terhadap runner.



Gambar 4. Runner

Aliran air tersebut diatas mengalir diantara sudu-sudu dan mengakibatkan runner berputar setekah menjadi penyerapan energi kinetik. Air oleh raner dan diubah menjadi energi mekanik. Mengikuti bentuk kontur sudu raner aliran air selanjutnya membelok 90° vertikal ke bawah (longitudinal terhadap poros) masuk ke dalam drafttube.

c) Poros Utama (Shaft).

Berfungsi mentransmisikan energi mekanik rotor kepada generator. Terbuat dari dua bagian utama yaitu bagian atas generator shaft yang dikopling dengan kopling tetap (mur dan baut). Pada bagian bawah

berlapis yaitu inner shaft sehingga berfungsi sebagai penggerak runner blade dan main shaft.

d) Bantalan Turbin (Bearing)

Bantalan turbin memainkan peran kritis dalam operasi dan kinerja turbin, termasuk turbin air, turbin gas, dan turbin uap. Bantalan adalah komponen yang mendukung dan memposisikan rotor turbin, memungkinkan rotasi yang lancar dan stabil dengan gesekan yang minimal.



Gambar 5. Bantalan (Bearing)

d. Daya Turbin

Tipe Turbin	High Head	Medium Head	Low Head
Turbin Impuls	Turbin Pelton	Cros-Flow, Pelton	Cros-Flow, Pelton
Turbin Reaksi		Francis Turbin	Propeller Kaplan

$$\begin{aligned}
 P &= p \cdot Q \cdot g \cdot H \text{ (watt)} \\
 &= 1000 \text{ kg/m}^3 \times 46.7 \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 77\text{m} \\
 &= 35.239.820 \text{ watt} \\
 &= 35.2 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

e. Kecepatan Turbin

$$n = \frac{n \cdot s \cdot H \cdot \frac{5}{4}}{P \cdot \frac{1}{2}}$$

(Hal 65 buku DR.A.ARISMUNANDAR)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{46,7 \cdot 77 \cdot \frac{5}{4}}{32,3 \cdot \frac{1}{2}} \\
 n &= \frac{46,7 \cdot 96,5}{16,5} \\
 n &= 46,7 \times 5,8
 \end{aligned}$$

Kecepatan Turbin adalah 268.5 rpm = 272.7 rpm mendekati seperti data Spesifik PLTA Jati luhur.

f. Efisiensi Turbin

$$n = \frac{nt}{np} 100\%$$

$$n = \frac{32.3 \text{ MW}}{35,2 \text{ MW}} 100\%$$

$$n = 91,76 \%$$

Dimana:

$$N_t = T\omega = 32.3 \text{ MW}$$

η_t = efisiensi turbin

N_t = Daya turbin

N_p = Daya hidrolik

P : Tenaga yang keluar (KW)

H : Ketinggian (Head) (m)

Q : Debit (m³/s)

ρ : Rapat masa air (1000 Kg/m³)

g : Gravitasi (9.8 m/s²)

N_t = Daya turbin (watt)

n = kecepatan putar (rpm)

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan pembahasan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Beberapa bagian Turbin PLTA di antaranya, Menara ,pipa penstock , turbin (generator), pelimpas(spill way) , hollow jet katup dan Switchyard.
- Untuk turbin francis tersebut dapat di simpulkan sebagai berikut di antaranya adalah daya turbin maksimal yang tercapai sebesar 35,2 MW yaitu pada debit 46.7m/s² dan ketinggian 77 m dan pada putaran 272.7 rpm , torsi maksimum yang tercapai 66.640 N dengan frekuensi 50 Hz dan daya turbin (N_t) adalah 35.239.820 watt.
- Tipe turbin francis ini memiliki 10-200 m untuk head dan debit air range 0.5- 50 m³/s. Sedangkan untuk tipe Turbin Pelton memiliki range 50-1000 meter untuk head dan debit 4 - 15 m³/s dan untuk Kaplan memiliki 0-50 untuk Head dan debit 0-50 m³/s dan memiliki efisien 91.47 %.

Daftar Pustaka

Abimanyu, Y., Sudarti, S., & Yushardi, Y. (2023). Rancang Bangun Sistem Turbin Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Pada Daerah Irigasi Sawah Aliran Rendah. *PHYDAGOGIC: Jurnal Fisika Dan Pembelajarannya*, 6(1), 33–37. <https://doi.org/10.31605/phy.v6i1.3135>

Haerun, H., Imran, A., & Mangesa, R. T. (2021). *Study of the Potential of Micro Power Plant (Pltmh) By Using the Casimir Hydropower Application At Noling River , Noling Sub- District , Luwu Regency*. 19(1), 21–25.

Muhammad Helmi Kurniawan, Iswanda, D., & Annisa Kesya Garside. (2021). Perancangan dan Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Di Aliran Sungai Brantas Sengkaling Kabupaten

Malang Dalam Rangka Mencapai Target Energy Mix 23% Pada Tahun 2025. *Journal of Applied Mechanical Engineering and Renewable Energy*, 1(2), 46–52. <https://doi.org/10.52158/jamere.v1i2.235>

Qudus, A. R., Almaradiyah, A. Z., Maulana, C. A., Ahsan, T., Tauhid, M. F., Febrianti, R., Azzahra, S. F., Wulandari, T. D., Padilia, T. P., Listiani, Y. P., & Taufik, A. (2024). *Perancangan dan Penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Di Kampung Cukang Kawung Desa Sirnajaya Garut*. 2(7), 3093–3097.

Sonjaya, A. N., Nugroho, F. S., & Vindiawan, M. V. (2023). Perencanaan Turbin Pelton Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Kapasitas 100 watt. *Jurnal Teknologi*, 11(1), 100–109. <https://doi.org/10.31479/jtek.v11i1.266>

Suharto, S., Muqorrobin, M., Sarana, S., Suwondo, A., & Paryono, P. (2023). Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Mikrohidro (PLTMH) Daya 8.1 kWatt untuk Masyarakat dengan Studi Kasus Usaha Terpadu Desa Caturanom. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 18(1), 121. <https://doi.org/10.32497/jrm.v18i1.4069>

Suryono, E., Winarso, R., & Wibowo, R. (2021). Analisis Variasi Jumlah Sudu Terhadap Performa Turbin Spiral Horisontal Pada Flow Head Rendah. *Jurnal Crankshaft*, 4(2), 63–72. <https://doi.org/10.24176/crankshaft.v4i2.6627>

Syahputra, R., Subarkah, Y. A., Purwanto, K., & Jamal, A. (2023). Unjuk-kerja Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid Berbasis Mikrohidro dan Surya. *Semesta Teknika*, 26(1), 1–11. <https://doi.org/10.18196/st.v26i1.16284>

Tarigan, K., Pardede, S. P., Rasta, Sholeha, D., & Tarigan, E. (2024). Analisis Prototype Turbin Pelton Dengan Variasi Operasional Di Laboratorium Pengujian Mesin Universitas Darma Agung. *SINERGI POLMED: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 5(1), 108–113. <https://doi.org/10.51510/sinergipolmed.v5i1.1545>

Yohanes Setyawan, E., & Tetuko, B. (2023). Pengamatan Kinerja Nosel Pada Pembangkit Listrik Tenaga Air Berbasis Turbin Pelton. *Prosiding SENIATI*, 7(1), 156–160. <https://doi.org/10.36040/seniati.v7i1.8139>

Yunus, A., Udin Galang GA, N., Muhammad Rizqi, F., Estarini, E., Damayanti, F., Aliya, S., Ika Lestari, A., Febriyanti, H., Siti Jamilah, L., & Endah Pratiwi, S. (2022). Penyuluhan Potensi Mikrohidro Desa Kemuning Kabupaten Karanganyar Untuk Pemberdayaan Masyarakat Dan Umkm Desa Kemuning. *KOMUNITA: Jurnal Pengabdian Dan Pemberdayaan Masyarakat*, 1(1), 19–22. <https://doi.org/10.60004/komunita.v1i1.9>