



Ekspерimen Turbin Air Very Low Head dengan Variasi Jumlah Sudu dan Variasi Debit

Anjar Susatyo^{1,2*}, Mohammad Alexin Putra², Ridwan Arief Subekti¹, Henny Sudibyo¹, Muhammad Fachry Ritonga²

¹ Research Center for Energy Conversion and Conservation, National Research and Innovation Agency (BRIN), Serpong, Indonesia

² Faculty technology Industri Mechanical Engineering Master's, Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia (ITENAS)

³ Department of Electrical Technology, FTE Indonesian Institute of Technology, South Tangerang, Banten, Indonesia

*Korespondensi penulis: anjarsusatyo@yahoo.com

Abstract. *The vortex turbine is a water turbine with a type of reaction turbine that can be used in waterways with very low head. The amount of output power produced by the generator in the MHP system will vary according to the input parameters used, one of which is water discharge. Therefore, this research was conducted to determine the output power produced by the generator with different water discharge parameters using artificial waterways in the vortex turbine power plant prototype. In this research, it tries to conduct a research study to optimise the power and efficiency of the vortex turbine flow reaction turbine by varying the blade width and discharge variations on the upper curved cross-section blade type vortex flow reaction turbine at 5 and 8 blades. This study uses independent variables in the form of water discharge of 2.5 l/s, 2.6 l/s, 2.7 l/s, 2.8 l/s, 2.9 l/s, 3.0 l/s using turbine runner blade 5 diameter 100 mm, blade 8 diameter 100 mm, blade 5 diameter 130 mm and blade 8 diameter 130 mm. This research uses experimental research methods. The test results state that the greatest efficiency is produced in the turbine 8 blades of small diameter (100 mm) with a water capacity of 3.0 l/s which is 22.26% with a loading of 5.3 Ncm, at a turbine rotation of 164.89 rpm and produces shaft power of 0.915 W.*

Keywords: *experiment, runner diameter, number of blades, discharge variation, vortex turbine, very low head*

Abstrak. Turbin vortex merupakan turbin air dengan jenis turbin reaksi yang dapat digunakan pada saluran air dengan very low head. Besar daya output yang dihasilkan oleh generator pada sistem PLTMH akan berbeda-beda menyesuaikan dari parameter-parameter input yang digunakan, salah satunya debit air. Maka dari itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui daya output yang dihasilkan generator dengan parameter debit air yang berbeda-beda menggunakan saluran air buatan pada prototype pembangkit listrik turbin vortex. Dalam penelitian ini mencoba melakukan kajian penelitian untuk mengoptimalkan daya dan efisiensi turbin reaksi aliran turbin vortex dengan memvariasikan lebar sudu dan variasi debit pada turbin reaksi aliran vortex tipe sudu berpenampang lengkung atas pada sudu 5 dan 8 sudu. Penelitian ini menggunakan variabel bebas yang berupa debit air sebesar 2.5 l/s, 2.6 l/s, 2.7 l/s, 2.8 l/s, 2.9 l/s, 3.0 l/s dengan menggunakan runner turbin sudu 5 diameter 100 mm, sudu 8 diameter 100 mm, sudu 5 diameter 130 mm dan sudu 8 diameter 130 mm. Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen. Hasil pengujian menyatakan efisiensi terbesar dihasilkan pada turbin 8 sudu diameter kecil (100 mm) dengan pada kapasitas air 3.0 l/s yaitu 22.26% dengan pembebanan 5.3 Ncm, pada putaran turbin 164.89 rpm dan menghasilkan daya poros sebesar 0.915 W.

Kata kunci: eksperimen, diameter runner, jumlah sudu, variasi debit, turbin vortex, very low head

I. LATAR BELAKANG

Indonesia memiliki Potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) yang cukup besar diantaranya, mini/micro hydro sebesar 450 MW, Biomass 50 GW, energi surya 4,80 kWh/m²/hari, energi angin 3-6 m/det dan energi nuklir 3 GW. Data potensi EBT terbaru disampaikan Direktorat Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi dalam acara Focus

Received: Juni 12, 2024; Revised: Juli 18, 2024; Accepted: August 27, 2024; Online Available: September 29, 2024; Published: September 29, 2024;

* Anjar Susatyo, anjarsusatyo@yahoo.com

Group Discussion tentang Supply-Demand Energi Baru Terbarukan yang belum lama ini diselenggarakan Pusdatin ESDM(Potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) Indonesia, 2008). Saat ini pengembangan EBT mengacu kepada Perpres No. 5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional. Dalam Perpres disebutkan kontribusi EBT dalam bauran energi primer nasional pada tahun 2025 adalah sebesar 17% dengan komposisi Bahan Bakar Nabati sebesar 5%, Panas Bumi 5%, Biomasa, Nuklir, Air, Surya, dan Angin 5%, serta batubara yang dicairkan sebesar 2%. Untuk itu langkah-langkah yang akan diambil Pemerintah adalah menambah kapasitas terpasang Pembangkit Listrik Mikro Hidro menjadi 2,846 MW pada tahun 2025 (Kebijakan Pengembangan Tenaga Air, 2014).

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) merupakan suatu pembangkit listrik berskala kecil yang menggunakan air sebagai tenaga penggerak, seperti saluran irigasi, jumlah debit air dan sungai atau air terjun dengan memanfaatkan tinggi dari terjunan. Secara teknis, mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sumber energi), turbin dan generator. Turbin air merupakan sebuah mesin konversi energi yang mengubah energi mekanik menjadi energi kinetik, kemudian menjadi energi potensial dan selanjutnya menjadi energi listrik. Selain itu PLTMH tidak perlu membuat waduk yang besar seperti PLTA dan sebagian besar PLTMH yang ada saat ini memanfaatkan head air yang tinggi untuk menghasilkan energi listrik. Sedangkan untuk aliran sungai dengan head yang rendah belum dimanfaatkan secara optima(Muchlisin Riadi, 2016).

Beberapa peneliti telah melakukan berbagai riset mengenai turbin vortex, antara lain penelitian yang dilakukan oleh Widyatmoko, dalam penelitian dengan memvariasikan jumlah sudu yang diperoleh efisiensi tertinggi 6.02% pada jumlah sudu 8 buah. (WIDIYATMOKO and , Muhammad Sulaiman, S.T., M.T., 2012). Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Luqmanul Hakim Daeroni dan Priyo Heru Adiwibowo, dalam penelitian ini menyatakan bahwa variasi sudut sekat sudu sebesar 45°, 60°, 75° dan 90° dengan kapasitas air 7.9986 l/s, 9.3092 l/s, 11.0429 l/s dan 13.4434 l/s pada pembebanan yang bervariasi terhadap daya dan efisiensi. Hasil penelitian didapatkan bahwa besar sudut sekat sudu berpengaruh terhadap daya dan efisiensi yang dihasilkan. Daya tertinggi turbin reaksi aliran vortex yaitu pada kapasitas 13.4434 l/s yang dihasilkan turbin sudut sekat 75° sebesar 43,2171 Watt pada pembebanan 45.000 gram. Sedangkan efisiensi tertinggi dihasilkan turbin sudut sekat 60° pada kapasitas 7.9986 l/s sebesar 49.0706% pada pembebanan 20.000 gram(Daeroni & Adiwibowo, 2018).

Penelitian yang dilakukan oleh Yordan Lisado (2021) menyatakan bahwa hasil analisis penelitian pada turbin jumlah sudu 8 dengan menggunakan kapasitas air 8.069 l/s, 9.413 l/s, dan 10.803 l/s. Variasi pembebanan yang digunakan kenaikan 5000 gram hingga putaran poros pada turbin berhenti sesuai tipe turbin hingga mendapatkan daya dan efisiensi. Hasil penelitian didapatkan kelengkungan sudut sudu turbin paling optimal sebesar 35° pada kapasitas 10.803 l/s menghasilkan daya sebesar 50.053 Watt pada pembebanan 25000 gram. Efisiensi tertinggi didapatkan pada kelengkungan sudut sudu 35° dengan kapasitas 10.803 l/s menghasilkan efisiensi sebesar 68.76% pada pembebanan 25000 gram (Lisado & Adiwibowo, 2021). Kemudian penelitian yang dilakukan oleh Hannas Kholbika Fitroh menyatakan bahwa hasil analisis penelitian pada turbin jumlah sudu 8 dengan memiliki daya tertinggi yang terjadi pada kapasitas 13.44350 l/s dengan pembebanan 40.000 g (44.11 W), dan efisiensi tertinggi terjadi pada kapasitas 7.99867 l/s dengan pembebanan 25.000 g (58.78%) (Fitroh & Adiwibowo, 2018). Selanjutnya penelitian dilakukan Yani dkk. (2016) dalam penelitian ini menyatakan bahwa daya dan efisiensi suatu turbin maksimum terjadi pada sudu lengkung dengan nilai sebesar 4.699 Watt dan 29.659%, kemudian menurun pada sudu mangkuk dan yang terendah pada sudu pada datar (Yani et al., 2017).

Penelitian oleh Kueh et al dalam penelitiannya menyatakan bahwa kekuatan aliran vortex akan meningkat dengan pertambahan tinggi dari vortex (Kueh et al., 2014). Penelitian oleh I Gusti Ngurah Agastya Citranatha, dan I Made Suartika dalam penelitiannya menyatakan bahwa dapat diketahui peningkatan besar input debit air akan seiring dengan besar daya output yang dihasilkan dari generator. Hal ini disebabkan karena putaran turbin akan menyesuaikan dengan besar debit air yang digunakan (Agastya Citranath et al., 2022).

Berdasarkan latar belakang dan penelitian terdahulu diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah pertama, tipe sudu pada sudu turbin reaksi aliran vortex berpenampang lengkung terhadap daya yang dihasilkan. Kedua, mengetahui bagaimana pengaruh variasi debit pada turbin reaksi aliran vortex berpenampang lengkung terhadap efisiensi yang dihasilkan. Penelitian ini menggunakan variabel bebas yang berupa debit air sebesar 2,5 l/s, 2.6 l/s, 2.7 l/s, 2.8 l/s, 2.9 l/s, 3.0 l/s dengan menggunakan runner turbin sudu 5 diameter 100 mm, sudu 8 diameter 100 mm, sudu 5 diameter 130 mm dan sudu 8 diameter 130 mm. Dalam penelitian ini mencoba melakukan

kajian penelitian untuk mengoptimalkan daya dan efisiensi turbin reaksi aliran vortex dengan memvariasikan lebar sudu dan variasi debit pada turbin reaksi aliran vortex tipe sudu berpenampang lengkung atas pada sudu 5 dan 8 bilah. Diharapkan dengan eksperimen penelitian ini dapat menghasilkan turbin reaksi aliran vortex yang baik dari segi daya dan efisiensinya yang dapat digunakan untuk skala kecil dan dapat menjadi referensi perancangan mengenai inovasi dalam perkembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).



Gambar 1. Turbin vortex di laboratorium

II. METODE PENELITIAN

Turbin Vortex ini dinamakan sebagai Gravitation water vortex power plant (GWVPP). turbin ini memanfaatkan pusaran air buatan untuk memutar sudu turbin dan kemudian energi pusaran air diubah menjadi energi putaran pada poros. Prosesnya air dari sungai dialirkan melalui saluran masuk ke tangki turbin yang berbentuk lingkaran dan di bagian tengah dasar tangki terdapat saluran buang berupa lingkaran kecil. Akibat saluran buang ini maka air mengalir akan membentuk aliran pusaran air. Ketinggian air (head) yang diperlukan untuk turbin ini very low head 0.7 – 2 m dan debit berkisar 1000 liter per detik (Hakim & Adiwibowo, 2018). Sistem pembangkit energi daya dengan pusaran air atau vortex adalah sebuah teknologi terbaru yang memanfaatkan adanya energi yang terkandung didalam aliran pusaran air yang diciptakan melalui perbedaan head rendah disungai

Vortex adalah aliran cairan yang berputar dan biasanya turbulen. Gerakan spiral apapun dengan arah aliran tertutup disebut aliran vortex. Gerakan cairan yang berputar cepat mengitari pusatnya disebut vortex. Kecepatan dan tingkat rotasi cairan dalam vortex bebas (irotasional) lebih tinggi di pusatnya, dan menurun secara progresif sesuai jarak

dari pusatnya, sementara kecepatan vortex dorongan (rotasional) adalah nol di pusat dan meningkat secara proporsional sesuai jarak dari pusatnya. Kedua jenis vortex tersebut memiliki tekanan minimum di pusat, meski tekanan minimum pada vortex bebas lebih rendah (Ravinda Ariestya Pamungkas, Wayan Arta Wijaya, 2018)(Yulianto dan Karnowo, 2020)(Maidangkay et al., 2014).

Tenaga fluida air ditunjukkan pada persamaan 1 :

$$P = Q \times \rho \times g \times h \quad (1)$$

dimana P adalah tenaga fluida air (W), h adalah head (m), ρ adalah densitas (kg/m^3), Q = debit (m^3/s), dan g adalah percepatan gravitasi (m/s^2) (Lisado, Y., & Adiwibowo, P. H., 2021). Daya keluaran yang dihasilkan oleh turbin sebagai hasil konversi energi potensial air menjadi energi mekanik adalah :

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

Di mana P adalah daya keluaran (W), T adalah torsi (Nm), dan ω adalah kecepatan sudut (rad/s). Dalam pengukuran sering dijumpai alat ukur kecepatan putar tidak mengukur kecepatan sudut, sehingga konversi dari rpm ke kecepatan sudut adalah $\omega = 2\pi n$, dimana n adalah kecepatan putar dengan satuan revolutions per second (rps).

$$P = T \times 2\pi n / 60 \quad (3)$$

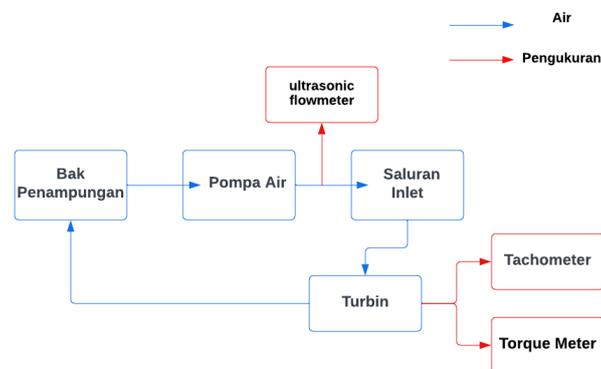
Di mana P adalah daya keluaran (W), n adalah kecepatan putar (rpm), dan T adalah torque (Nm). Sehingga efisiensi turbin dapat dicari dengan persamaan :

$$\eta = P_{\text{out}} / P_{\text{in}} \times 100\% \quad (4)$$

Pengujian dilakukan untuk variasi jenis sudu dan variasi debit. Pengujian ini dilakukan di Pusat riset konversi dan konversasi energi Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Bandung. Variabel yang dicari dalam pengujian ini adalah ketinggian air di saluran masuk untuk menghitung potensi daya, putaran turbin & torsi poros untuk menghitung daya dan efisiensi poros. Pada penelitian ini tipe bak yang digunakan adalah bak tanpa kerucut, sehingga besarnya daya yang dapat dihasilkan oleh turbin/sudu sangat dipengaruhi oleh kecepatan dan aliran air. Jenis penelitian yang digunakan yaitu penelitian eksperimental. Penelitian eksperimental adalah penelitian yang bertujuan untuk menyelidiki ada tidaknya hubungan sebab akibat serta seberapa besar hubungan

sebab akibat tersebut dengan cara memberikan perlakuan tertentu dan menyediakan kontrol untuk perbandingan. Data-data tersebut kemudian diolah untuk mendapatkan nilai daya dan efisiensi dari masing-masing variasi turbin.

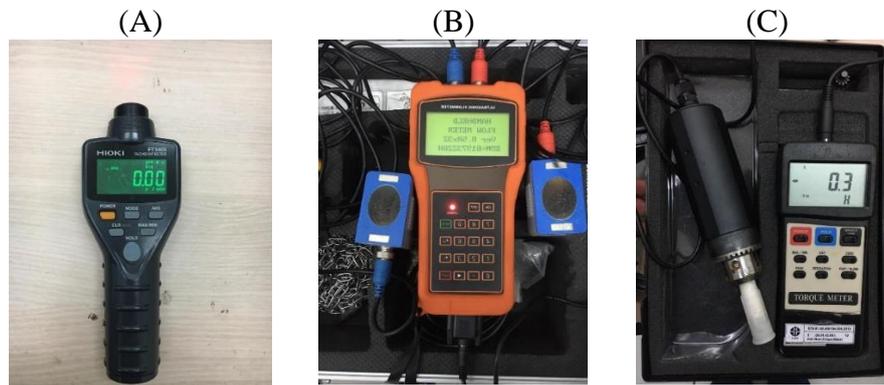
Tahapan pengujian variasi jumlah sudu terhadap karakteristik turbin vortex diawali dengan mempersiapkan seluruh variasi jumlah sudu yang direncanakan untuk diuji dalam penelitian. Air di tampung di dalam tangki sirkulasi yang akan dipompa melalui pipa 3 inc menuju ke basin berbentuk tabung mengerucut yang diharapkan dapat menciptakan gerakan memutar pada air untuk menggerakkan turbin. Kecepatan putaran turbin per menit akan diukur menggunakan tachometer yang diarahkan ke poros turbin. Pengujian dilakukan secara satu persatu untuk setiap variasi sudu dengan jumlah 5 bilah penampang lengkung atas kecil, 5 bilah penampang lengkung atas lebar, 8 bilah lengkung atas kecil dan 8 bilah penampang lengkung atas besar pada posisi Sudu berada di atas lubang outlet dan variasi debit 2.5 - 3.0 I/s. Hasil pengujian yang didapatkan berupa nilai putaran turbin, torsi, dan efisiensi sistem turbin voltex. . Gambar 2 akan menampilkan diagram alur dari sistem kerja prototype PLTMH dengan turbin vortex.



Gambar 2. Diagram Alur Pengujian Sistem Kerja Turbin Vortex

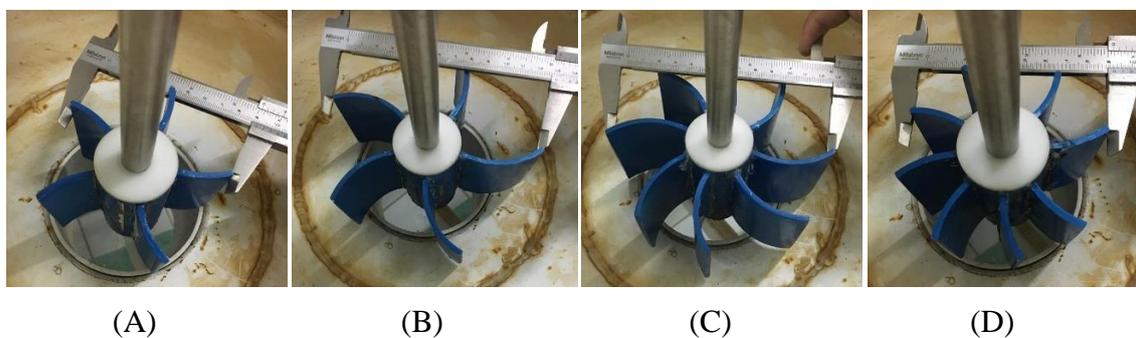
Gambar 2 adalah Sistem kerja alat ini diawali dengan sebuah pompa yang mengalirkan air yang ditampung didalam bak penampungan kemudian dialirkan melalui pipa menuju basin yang akan membuat pusaran air untuk mendorong turbin vortex agar dapat berputar. Putaran turbin akan memutar poros as yang dimana putaran diukur menggunakan tachometer untuk mengetahui kecepatan. Skema pusaran air gravitasi di laboratorium. Motor listrik menggerakkan pompa untuk mensirkulasikan air. Sebuah katup dipasang untuk mengatur air yang masuk. Air yang masuk melalui Basin akan

menciptakan Vortex yang menggerakkan Turbine. Kemudian air keluar ke reservoir dan disirkulasikan kembali. Pada sistem diatas menggunakan pipa PVC kecuali pada bagian atas dari turbin vortex menggunakan Acrylic untuk melihat pola aliran air . Adapun alat-alat ukur yang gunakan dalam pengujian ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 3 . Alat pengukur pusaran air gravitasi (a) tachometer HIOKI FT3405; (b) pengukur aliran ultrasonik HANDHELD ATTUF-2000H ; (c) pengukur torsi LUTRON TQ-8800

Seperti yang terdapat pada Gambar 3, alat yang digunakan dalam pengukuran pusaran air gravitasi antara lain tachometer yang berfungsi untuk mengukur putaran pada poros as turbin dalam satuan waktu, alat ini akan mendeteksi warna yang berbeda pada poros as yang berputar, kemudian ultrasonic flowmeter yang berfungsi untuk mengukur debit air yang mengalir, dan torsimeter yang berfungsi untuk mengukur besarnya pembebanan yang dihasilkan oleh poros turbin. Kemudian gambar di bawah ini menunjukkan jenis-jenis sudu yang digunakan pada pengujian performa turbin voltex menggunakan varian sudu yang berbeda.



Gambar 4 . Jenis-jenis sudu (a) Sudu lengkung atas 5 bilah diameter kecil ; (b) Sudu lengkung atas 5 bilah diameter besar; (c) Sudu lengkung atas 8 bilah diameter besar (d) Sudu lengkung atas 8 bilah diameter kecil

Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas (Ariestya Pamungkas, Wayan Arta Wijaya, G. J., 2018). Pada penelitian ini variabel terikat meliputi daya dan efisiensi turbin reaksi aliran *vortex* pada tiap variasi diameter sudu dan variasi debit.

Variabel kontrol merupakan variabel yang dikendalikan atau dibuat konstan agar pengaruh variasi bebas ke variabel terikat tidak dipengaruhi oleh factor-faktor lain (Yulianto dan Karnowo, 2020) Dalam penelitian ini variabel yang dikontrol meliputi:

1. Fluida kerja adalah air.
2. Lubang diameter *outled basin* sebesar 100mm sama untuk semua sudu
3. Turbin yang digunakan adalah turbin dengan jumlah sudu 8 dan 5 bilah diameter kecil dan besar
4. Sudu terbuat dari bahan PVC
5. Posisi sudu berada di atas lubang outlet.
6. Sudu yang digunakan adalah sudu berpenampang lengkung atas.
7. Diameter luar yang digunakan sudu diameter besar adalah 130 mm
8. Diameter luar yang digunakan sudu diameter kecil adalah 100 mm.
9. Lebar bilah yang digunakan sudu diameter besar adalah 45 mm.
10. Lebar bilah yang digunakan sudu diameter kecil adalah 28 mm.
11. Tinggi bilah yang digunakan pada sudu diameter kecil dan besar adalah 65 mm.
12. Variasi debit air yang digunakan 2.5 l/s, 2.6 l/s, 2.7 l/s, 2.8 l/s, 2.9 l/s, 3.0 l/s.

Nilai yang didapat dari hasil pengujian selanjutnya dianalisis dalam bentuk grafik prototype sistem PLTMH terhadap variasi jumlah sudu. Analisa juga dilakukan pada efisiensi dengan menggunakan turbin vortex dan menentukan efisiensi tertinggi dari variasi jumlah sudu yang digunakan. Penelitian ini menggunakan metode analisis data secara kuantitatif yang diperoleh dari hasil setiap pengujian yang dilakukan sebanyak 24 kali pengukuran setiap variasi jumlah sudu dengan menggunakan debit air yang bervariasi yaitu dari debit 2.5 - 3.0 l/s yang didapat dengan mengisi air dari pipa menuju waduk air.

Setelah melakukan pengujian terhadap turbin vortex yang dibuat, maka didapatkan hasil pengujian yang akan dianalisis dan dibandingkan berdasarkan dengan teori-teori

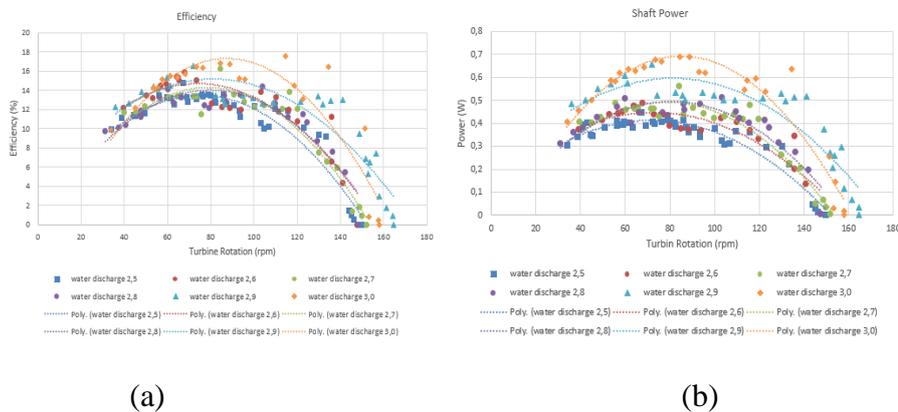
yang diperoleh dari jurnal atau buku yang dijadikan acuan pada penelitian ini. Perbandingan ini bertujuan untuk mengetahui apakah hasil pengujian pada penelitian ini dapat digunakan untuk menjelaskan perubahan nilai putaran turbin, torsi, dan efisiensi sistem PLTMH dengan menggunakan turbin vortex berdasarkan variasi jumlah sudu dan variasi debit.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengolahan data kemudian dilakukan pembahasan hasil penelitian dengan tujuan untuk mendapatkan nilai dari grafik daya dan efisiensi supaya yang membaca penulisan ini mudah memahaminya dan dapat melihat fenomena yang terjadi dari hasil penelitian yang dilakukan. Pada penelitian ini terdapat beberapa faktor utama yang berpengaruh terhadap efisiensi turbin antara lain ketinggian air (head), kecepatan aliran, rotasi turbin, dan torsi pada as poros. Selanjutnya data akan disajikan dalam bentuk grafik dengan bantuan Microsoft Office Excel untuk menampilkan grafik daya dan efisiensi turbin dari hubungan antara variasi jumlah sudu dan variasi debit yang telah ditentukan. Berikut adalah hasil pengujian yang telah dilakukan dengan memvariasikan jumlah bilah dan variasi debit.

3.1 Pengaruh variasi debit sudu 5 bilah diameter besar

Hasil pengujian performa turbin vortex dengan menggunakan sudu 5 bilah diameter besar ditampilkan dalam bentuk grafik daya dan efisiensi terhadap putaran turbin seperti yang terdapat pada gambar dibawah ini.



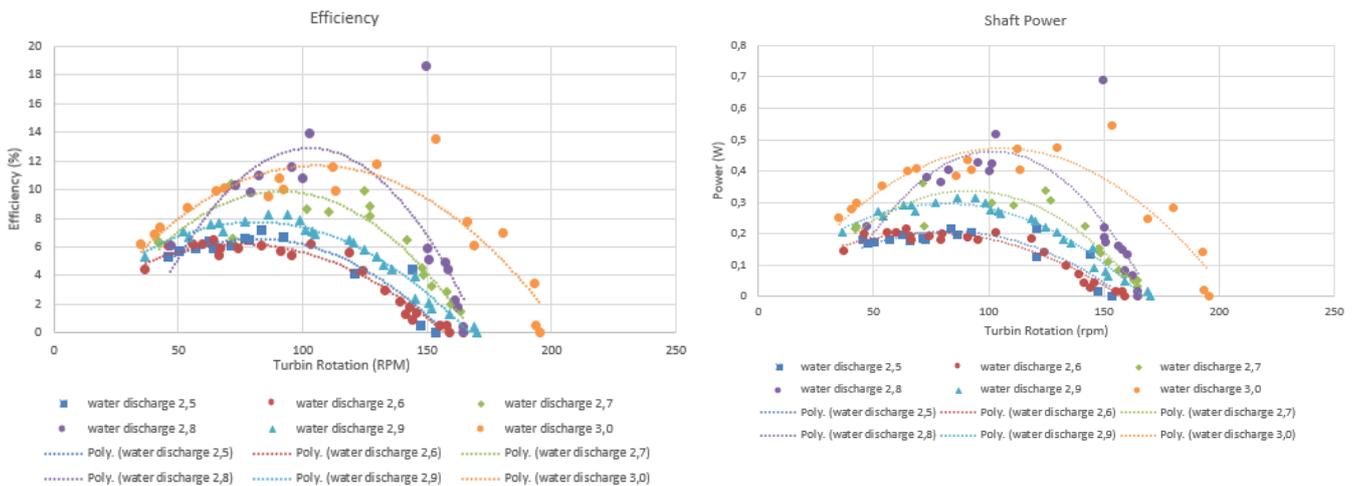
Gambar 5. Grafik performa turbin voltex pada sudu 5 bilah diameter besar

(a) efisensi, (b) daya

Berdasarkan pada gambar 5, pengujian turbin vortex dengan sudu 5 bilah berpenampang lengkung atas dengan debit air 2.5 l/s, pengujian kali ini efisiensi paling tinggi mencapai 14.71% dan dapat menghasilkan daya poros 0.450 W, dengan putaran turbin 67.15 rpm dan pembebanan 6.4 Ncm. Kemudian mengalami kenaikan nilai efisiensi dan daya poros yang dihasilkan dari debit air 2.6 l/s, efisiensi tertinggi pada pengujian kali ini mencapai 15.85% dengan daya poros 0.484 W, dengan putaran turbin 67.99 rpm dan pembebanan 7.1 Ncm. Selanjutnya kembali mengalami kenaikan nilai efisiensi dan daya poros yang dihasilkan dari debit air 2.7 l/s, efisiensi tertinggi pada pengujian kali ini mencapai 16.22% dengan daya poros 0.557 W, dengan putaran turbin 84.41 rpm dengan pembebanan 6.3 Ncm. Dari ketiga percobaan yang telah dilakukan telah mengalami kenaikan, semakin besar kapasitas aliran air yang mengalir maka semakin besar juga efisiensi yang dihasilkan. Hal itu disebabkan karena dengan bertambahnya kapasitas aliran maka ketinggian vortex makin meningkat dan daya air ikut meningkat karena efisiensi dihitung dengan perbandingan dari daya turbin dengan daya air. Tetapi tidak semua setiap penambahan kapasitas efisiensi dan daya akan mengalami kenaikan. Seperti pada pengujian turbin vortex dengan debit air 2.8 l/s, hanya menghasilkan nilai efisiensi sebesar 14.34% dan dapat menghasilkan daya poros 0.511 W, pada putaran turbin 103.80 rpm dengan pembebanan 4.7 Ncm. Pada pengujian kelima turbin vortex dilakukan dengan debit air 2.9 l/s, efisiensi yang dihasilkan Kembali naik sebesar 16.53% dengan daya poros 0.655 W, dengan putaran turbin 71.82 rpm dan pembebanan sebesar 8.7 Ncm. Selanjutnya pada Pengujian terakhir dengan menggunakan sudu 5 bilah diameter besar turbin vortex menggunakan debit air 3 l/s mengalami kenaikan efisiensi walaupun kurang signifikan tetapi mendapatkan hasil tertinggi pada pengujian ini, efisiensi yang dihasilkan adalah 16.78% dan menghasilkan daya poros 0.689 W, pada putaran turbin 84.43 rpm dengan pembebanan 7.8 Ncm.

3.2 Pengaruh Variasi Debit Sudu 5 Bilah Kecil

Hasil pengujian performa turbin vortex dengan menggunakan sudu 5 bilah diameter kecil ditampilkan dalam bentuk grafik daya dan efisiensi terhadap putaran turbin seperti yang terdapat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 6 . Grafik performa turbin voltex pada sudu 5 bilah diameter kecil
(a) efisiensi (b) daya**

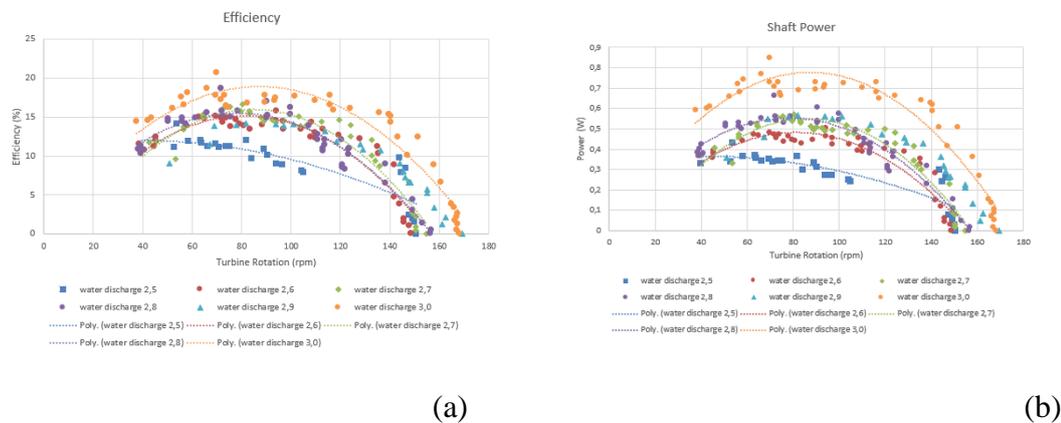
Berdasarkan pada gambar 6, pengujian turbin vortex dengan sudu 5 bilah berpenampang lengkung atas berdiameter kecil, debit air 2.5 l/s. Efisiensi paling tinggi mencapai 7.14% dan dapat menghasilkan daya poros 0.218 W, dengan putaran turbin 83.45 rpm dan pembebanan 2.5 Ncm. Kemudian mengalami penurunan dengan nilai efisiensi dan daya poros yang dihasilkan dari debit air 2.6 l/s, efisiensi tertinggi pada pengujian kali ini hanya mencapai 6.49% dengan daya poros 0.215 W, dengan putaran turbin 64.08 rpm dan pembebanan 3.2 Ncm. Tetapi setelah itu mengalami kenaikan yang cukup signifikan oleh nilai efisiensi dan daya poros yang dihasilkan dari debit air 2.7 l/s, efisiensi tertinggi pada pengujian kali ini mencapai 10.43% dengan daya poros 0.358 W, dengan putaran turbin 71.28 rpm dengan pembebanan 4.8 Ncm. Kemudian pada pengujian turbin vortex dengan debit air 2.8 l/s Kembali naik dengan nilai efisiensi yang mencapai 18.63% dan dapat menghasilkan daya poros 0.689 W, pada putaran turbin 149.62 rpm dan dengan pembebanan 4.4 Ncm.

Selanjutnya mengalami penurunan yang sangat signifikan dengan debit air 2.9 l/s hanya dapat menghasilkan nilai efisiensi sebesar 8.26 dan dapat menghasilkan daya poros 0.316 W, pada putaran turbin 86.32 rpm dan dengan pembebanan 3.5 Ncm, selanjutnya pada Pengujian terakhir dengan menggunakan sudu 5 bilah diameter kecil turbin vortex dengan menggunakan debit air 3 l/s, efisiensi Kembali naik walaupun

kurang signifikan yaitu sebesar 13.50% dan menghasilkan daya poros 0.547 W, pada putaran turbin 153.60 rpm dengan pembebanan 3.4 Ncm.

3.3 Pengaruh Variasi Debit Sudu 8 Bilah Besar

Hasil pengujian performa turbin vortex dengan menggunakan sudu 8 bilah diameter besar ditampilkan dalam bentuk grafik daya dan efisiensi terhadap putaran turbin seperti yang terdapat pada gambar dibawah ini.



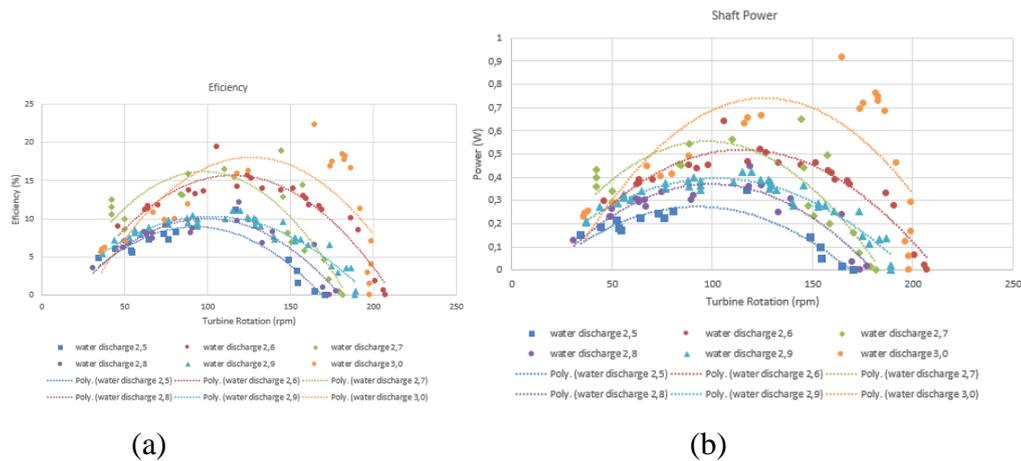
Gambar 7 . Grafik performa turbin voltex pada sudu 8 bilah diameter besar (a) efisiensi, (b) daya

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dan sudah disajikan pada gambar 7, pengujian turbin vortex dengan sudu 8 bilah berpenampang lengkung atas berdiameter besar, debit air 2.5 l/s. Efisiensi paling tinggi mencapai 14.15% dan dapat menghasilkan daya poros 0.433 W, dengan putaran turbin 53.67 rpm dan pembebanan 7.7 Ncm. Kemudian nilai efisiensi dan daya poros yang dihasilkan dari debit air 2.6 l/s, efisiensi tertinggi pada pengujian kali ini hanya mencapai 15.80% dengan daya poros 0.502 W, dengan putaran turbin 94.11 rpm dan pembebanan 5.1 Ncm. Tetapi Kembali mengalami kenaikan nilai efisiensi dan daya poros yang dihasilkan dari debit air 2.7 l/s, efisiensi tertinggi pada pengujian kali ini mencapai 16.67% dengan daya poros 0.573 W, dengan putaran turbin 80.44 rpm dengan pembebanan 6.8 Ncm. Kemudian pengujian dengan debit air 2.8 l/s Kembali naik dengan nilai efisiensi yang mencapai 18.61% dan dapat menghasilkan daya poros 0.663 W, pada putaran turbin 71.94 rpm dan dengan pembebanan 8.8 Ncm.

Selanjutnya kembali mengalami penurunan yang sangat signifikan dengan debit air 2.9 l/s hanya dapat menghasilkan nilai efisiensi sebesar 14.23 dan dapat menghasilkan daya poros 0.565 W, pada putaran turbin 81.82 rpm dan dengan pembebanan 6.6 Ncm, selanjutnya pada Pengujian terakhir dengan menggunakan sudu 8 bilah diameter besar turbin vortex dengan menggunakan debit air 3 l/s, efisiensi Kembali naik yaitu sebesar 20.68% dan menghasilkan daya poros 0.850 W, pada putaran turbin 69.97 rpm dengan pembebanan 11.6 Ncm, dengan itu menghasilkan nilai efisiensi dan daya poros tertinggi pada pengujian ini.

3.4 Pengaruh Variasi Debit Sudu 8 Bilah Kecil

Hasil pengujian performa turbin vortex dengan menggunakan sudu 8 bilah diameter kecil ditampilkan dalam bentuk grafik daya dan efisiensi terhadap putaran turbin seperti yang terdapat pada gambar dibawah ini.



Gambar 8. Grafik performa turbin voltex pada sudu 8 bilah diameter besar (a) efisiensi, (b) daya

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dan sudah disajikan pada gambar 8, pengujian turbin vortex dengan sudu 8 bilah berpenampang lengkung atas berdiameter kecil, debit air 2.5 l/s. Efisiensi paling tinggi mencapai 11.25% dan dapat menghasilkan daya poros 0.343 W, dengan putaran turbin 117.12 rpm dan pembebanan 2.7 Ncm, selanjutnya pada debit air 2.6 l/s, efisiensi tertinggi pada pengujian kali ini mencapai 19.44% dengan daya poros 0.643 W, dengan putaran turbin 105.88 rpm dan pembebanan 5.8 Ncm, kemudian mengalami penurunan nilai efisiensi dan daya poros yang dihasilkan dari debit air 2.7 l/s, efisiensi tertinggi pada pengujian kali ini mencapai 18.96% dengan

daya poros 0.651 W, dengan putaran turbin 144.44 rpm dengan pembebanan 4.8 Ncm, selanjutnya dengan debit air 2.8 l/s kembali turun dengan nilai efisiensi tertinggi pada pengujian hanya mencapai 12.61% dan dapat menghasilkan daya poros 0.449 W, pada putaran turbin 119.74 rpm dan dengan pembebanan 3.6 Ncm.

Kembali mengalami penurunan yang sangat signifikan dengan debit air 2.9 l/s hanya dapat menghasilkan nilai efisiensi sebesar 11.20 dan dapat menghasilkan daya poros 0.425 W, pada putaran turbin 119.82 rpm dan dengan pembebanan 3.4 Ncm, kemudian pada Pengujian terakhir dengan menggunakan sudu 8 bilah diameter kecil turbin vortex dengan menggunakan debit air 3 l/s, efisiensi Kembali naik yang cukup signifikan yaitu sebesar 22.28% dan menghasilkan daya poros 0.915 W, pada putaran turbin 164.99 rpm dengan pembebanan 5.3 Ncm, dengan itu menghasilkan nilai efisiensi dan daya poros tertinggi pada pengujian ini.

3.5 Performa Variasi Sudu dan Variasi Debit

Berdasarkan performa yang dihasilkan turbin vortex dengan menggunakan variasi sudu dan memvariasikan debit air, berikut adalah hasil daya dan efisiensi terbaik yang didapat saat pengujian.



Gambar 9. Grafik performa efisiensi turbin vortex

Performa turbin vortex dengan variasi debit turbin reaksi aliran vortex tipe sudu berpenampang lengkung atas terhadap daya poros dan efisiensi. Efisiensi terbesar dihasilkan pada turbin 8 bilah diameter kecil dengan pada kapasitas air 3.0 l/s yaitu

22,26% dengan pembebanan 5.3 Ncm, pada putaran turbin 164.89 rpm dan menghasilkan daya poros sebesar 0.915 W. Diikuti oleh turbin 8 bilah diameter besar pada kapasitas air 3,0 l/s dengan pembebanan 11.6 Ncm memiliki nilai efisiensi sebesar 20,68%, pada putaran turbin 69.67 rpm dan menghasilkan daya poros sebesar 0.850 W. Kemudian turbin 5 bilah diameter besar pada kapasitas air 2.8 l/s yang menghasilkan efisiensi sebesar 18.63% pada pembebanan 4.4 Ncm%, pada putaran turbin 149.62 rpm dan menghasilkan daya poros sebesar 0.689 W, selanjutnya jenis sudu yang menghasilkan daya paling rendah yaitu turbin 5 bilah diameter kecil pada kapasitas air 3.0 l/s dengan pembebanan 16.78 Ncm memiliki nilai efisiensi yang hanya sebesar 16.78%, pada putaran turbin 84.43 rpm dan menghasilkan daya poros sebesar 0.689 W

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah dilakukan pengujian, analisis tentang pengaruh variasi debit turbin reaksi aliran vortex tipe sudu berpenampang lengkung atas terhadap daya poros dan efisiensi. Efisiensi terbesar dihasilkan pada turbin 8 bilah diameter kecil dengan pada kapasitas air 3.0 l/s yaitu 22,26% dengan pembebanan 5.3 Ncm, pada putaran turbin 164.89 rpm dan menghasilkan daya poros sebesar 915 W. Diikuti oleh turbin 8 bilah diameter besar pada kapasitas air 3,0 l/s dengan pembebanan 11.6 Ncm memiliki nilai efisiensi sebesar 20,68%, pada putaran turbin 69.67 rpm dan menghasilkan daya poros sebesar 0.850 W. Kemudian turbin 5 bilah diameter besar pada kapasitas air 2.8 l/s yang menghasilkan efisiensi sebesar 18.63% pada pembebanan 4.4 Ncm%, pada putaran turbin 149.62 rpm dan menghasilkan daya poros sebesar 0.689 W, selanjutnya jenis sudu yang menghasilkan daya paling rendah yaitu turbin 5 bilah diameter kecil pada kapasitas air 3.0 l/s dengan pembebanan 16.78 Ncm memiliki nilai efisiensi yang hanya sebesar 16.78%, pada putaran turbin 84.43 rpm dan menghasilkan daya poros sebesar 0.689 W. Dengan percobaan yang telah di lakukan telah mengalami kenaikan, semakin besar kapasitas aliran air yang mengalir maka semakin besar juga efisiensi yang dihasilkan. Hal itu disebabkan karena dengan bertambahnya kapasitas aliran maka ketinggian vortex makin meningkat dan daya air ikut meningkat karena efisiensi dihitung dengan perbandingan dari daya turbin dengan daya air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa turbin 8 bilah paling optimal dengan, hal ini disebabkan dengan jumlah sudu yang semakin banyak,

dapat menangkap kecepatan air dari aliran inlet, Sehingga torsi yang dihasilkan oleh rotor semakin besar dan juga dengan diameter yang lebih kecil putaran turbin lebih tinggi.

DAFTAR REFERENSI

- A, A. (2022). *Pengertian Variabel Terikat, Ciri, Cara Membuat, dan Contohnya*. Penelitian Ilmiah.
- Agastya Citranath, I. G. N., Jasa, L., & Suartika, I. M. (2022). Analisis Daya Output Generator Berdasarkan Variasi Debit Air Pada Prototype Pltmh Dengan Turbin Vortex. *Jurnal SPEKTRUM*, 9(3), 35. <https://doi.org/10.24843/spektrum.2022.v09.i03.p5>
- Daeroni, L. H., & Adiwibowo, P. H. (2018). Uji Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex Tipe Sudu Berpenampang Setengah Silinder Dengan Variasi Sudut Sekat. *Jurnal Teknik Mesin*, 6 Nomor 01, 129–138.
- Fitroh, H. K., & Adiwibowo, P. H. (2018). Uji Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex Tipe Sudu Melengkung Dengan Variasi Sudut Kemiringan. *Jurnal Teknik Mesin*, 1(01), 6.
- Hakim, M. F. R., & Adiwibowo, P. H. (2018). Uji Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex Tipe Sudu Berpenampang Lurus Dengan Variasi Tinggi Sudu. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(1), 85–95.
- Kebijakan Pengembangan Tenaga Air*. (2014). Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral.
- Kueh, T. C., Beh, S. L., Rilling, D., & Ooi, Y. (2014). Numerical Analysis of Water Vortex Formation for the Water Vortex Power Plant. *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 5(2), 111–115. <https://doi.org/10.7763/IJIMT.2014.V5.496>
- Lisado, Y., & Adiwibowo, P. H. (2021). Eksperimental Pengembangan Sudu Sudu Berpenampang Lengkung Dengan Variasi Kelengkungan Terhadap Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex. *Jtm*, 09(01), 99–108.
- Maidangkay, A., Soenoko, R., & Wahyudi, S. (2014). Pengaruh Sudut Pengarah Aliran dan Jumlah Sudu Radius Berengsel Luar Roda Tunggal terhadap Kinerja Turbin Kinetik. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 5(2), 149–156.
- Muchlisin Riadi. (2016). *Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)*. Kajian Pustaka.
- Potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) Indonesia*. (2008). Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral.
- Power, C., McNabola, A., & Coughlan, P. (2015). A Parametric Experimental Investigation of the Operating Conditions of Gravitational Vortex Hydropower (GVHP). *Journal of Clean Energy Technologies*, 4(2), 112–119. <https://doi.org/10.7763/jocet.2016.v4.263>
- Ravinda Ariestya Pamungkas, Wayan Arta Wijaya, G. J. (2018). Pengaruh Debit Air terhadap Putaran Turbin dan Daya Output Prototype PLTMH dengan Turbin Kaplan. *Spektrum*, 2(12), 76–79.
- sugiyono. (2018). *Variabel Kontrol Lengkap Dengan Pengertian dan Ciri-cirinya*. Deepublish.
- WIDIYATMOKO and , Muhammad Sulaiman, S.T., M.T., D.-E. (2012). *PENGARUH*

VARIASI JUMLAH SUDU TERHADAP DAYA OUTPUT LISTRIK PADA TURBIN VORTEX. Perpustakaan UGM.

- Yani, A., Mihdar, M., & Erianto, R. (2017). PENGARUH VARIASI BENTUK SUDU TERHADAP KINERJA TURBIN AIR KINETIK (Sebagai Alternatif Pembangkit Listrik Daerah Pedesaan). *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 5(1), 1–6. <https://doi.org/10.24127/trb.v5i1.113>
- Yulianto dan Karnowo, 2020. (2020). *Analisis pengaruh variasi jumlah sudu dan sudut serang terhadap kinerja turbin air darrieus*. 18(2), 68–78.