G-Tech : Jurnal Teknologi Terapan
Vol. 8, No. 2, April 2024, hlmn. 1193-1202
E-ISSN: 2623-064X | P-ISSN: 2580-8737

Analisis Unjuk Kerja Turbin Ulir Archimedes Satu Sudu dengan Variasi *Head*

Cloudiandy Mukti Kimana[1], Gad Gunawan[2]✉, Doddy Suanggana[3], Alfian Djafar[4]

[1, 2, 3, 4] Teknik Mesin, Jurusan Teknologi Industri dan Proses, Institut Teknologi Kalimantan, Indonesia
[2, 3] Pusat Studi dan Rekayasa Energi Terbarukan Berbasis Fluida, Institut Teknologi Kalimantan, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 03-04-2024
Direvisi : 06-04-2024
Diterima : 09-04-2024

ABSTRAK

Solusi alternatif yang menjawab permasalahan energi fosil adalah penggunaan energi terbarukan. Energi air merupakan salah satu energi terbarukan yang cukup besar penggunaannya di dunia. Salah satu turbin yang cocok diaplikasikan pada kondisi aliran dengan *head* yang rendah adalah turbin Ulir Archimedes. Penelitian ini bertujuan untuk menguji performa turbin ulir Archimedes pada beberapa *head*, yaitu *head* 300 mm, 500 mm dan 700 mm. Turbin yang digunakan memiliki jumlah sudu satu. Metode yang digunakan adalah eksperimen, yang dilakukan di laboratorium pada instalasi pengujian yang dirancang. Pada eksperimen ini didapatkan daya tertinggi didapatkan pada *head* 700 mm sebesar 6,407 Watt dan efisiensi terbesar 26,59% pada variasi *head* 500 mm. Hal ini menunjukkan performa suatu turbin tergantung pada kondisi operasinya.

Kata Kunci:

Archimedes, *Head*, Performa, Turbin, Ulir.

Keywords **:**

Archimedean, Head, Performance, Turbine, Screw.

ABSTRACT

An alternative solution that answers the problem of fossil energy is the use of renewable energy. Hydropower is one of the renewable energies that is widely used in the world. One kind of turbines that is suitable for application in low head conditions is the Archimedes Screw Turbine. This research aims to test the performance of Archimedes screw turbines on several heads, namely 300 mm, 500 mm and 700 mm heads. The number of blade in this turbine is one. The method used is experimentation, which is carried out in the laboratory on a designed testing installation. In this experiment, the highest power obtained at a 700 mm head was 6,407 Watts and the greatest efficiency was 26.59% at a 500 mm head variation. This shows that the performance of a turbine depends on its operating conditions.

Corresponding Author **:**
Gad Gunawan
Teknik Mesin, Jurusan Teknologi Industri dan Proses, Institut Teknologi Kalimantan, Indonesia
Jl. Soekarno-Hatta Km. 15, Karang Joang, Balikpapan, Kalimantan Timur, 76127
Email: gad_gunawan@lecturer.itk.ac.id

PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik bertenaga bahan bakar fosil masih mendominasi pembangkit Listrik di Indonesia, khususnya di Kalimantan Timur. Berdasarkan data Kementerian ESDM Indonesia (Hidayanto, et al., 2023), di Kalimantan Timur pada tahun 2022, terdapat 31,03% PLTU, 23,41% PLTG, 7,80% PLTMG, 6,90% PLTMGU, serta 30,82% PLTD dari kapasitas terpasang PLN di daerah tersebut sebesar 768,96 MW. Sejalan dengan data Badan Pusat Statistik (BPS, 2022),

This is an open access article under the CC BY license

terlihat bahwa lebih dari 80% pembangkit Listrik di Indonesia masih mengandalkan bahan bakar fosil. Ada tiga masalah umum yang berkaitan dengan energi fosil, yaitu ketersediaannya di alam terbatas, menyebabkan polusi udara, dan penyumbang karbon dioksida di atmosfer yang menyebabkan pemanasan global.

Solusi alternatif yang menjawab permasalahan energi fosil adalah penggunaan energi terbarukan seperti energi yang berasal dari aliran air, energi angin, energi surya/matahari, biomassa, geothermal, dan energi kelautan. Eksploitasi energi terbarukan sebagian besar bersifat spesifik lokasi, dan disesuaikan dengan sumber energi terbarukan yang tersedia secara lokal. Oleh karena itu, peralihan ke sumber energi terbarukan memerlukan kajian sumber daya, teknologi tepat guna, dan sistem yang dapat mengintegrasikan sumber energi terbarukan dengan baik dengan memenuhi permintaan (Østergaard, et al., 2020). Selain itu, untuk memastikan pengembangan sumber energi terbarukan disesuaikan dengan kebutuhan, perlu dilakukan perumusan kebijakan yang rasional (Li, et al., 2022).

Energi air merupakan salah satu energi terbarukan yang cukup besar penggunaannya. Aliran air dimanfaatkan untuk menggerakan generator sehingga menghasilkan listrik (Gogoi, et al., 2018). Proses ini melibatkan turbin air yang berfungsi menyerap energi yang dimiliki aliran air dan mengubahnya ke dalam bentuk energi mekanis pada poros yang dihubungkan dengan generator. Penggunaan energi air yang paling umum, terutama skala besar, selalu melibatkan pembangunan bendungan/dam. Hal ini berdampak terhadap alam terbatas pada perubahan daerah aliran sungai di mana bendungan itu berada. Dengan penanganan yang baik, dampak tersebut dapat dihindari (Bilgili, et al., 2021).

Salah satu turbin yang cocok diaplikasikan pada kondisi aliran dengan *head* yang rendah adalah turbin Ulir Archimedes (Martinez, et al., 2020). Ulir Archimedes (287-212 SM), sebuah peralatan yang digunakan untuk mengangkat air pada irigasi dan drainase, merupakan salah satu mesin tertua yang saat ini digunakan (Hedia, et al., 2022). Dengan mengalirkan air dari posisi tinggi ke tempat yang lebih rendah melalui ulir Archimedes, fungsinya dapat berubah menjadi turbin. Dalam penggunaannya, turbin ulir Archimedes tidak memerlukan pembuatan bendungan seperti halnya turbin air lainnya. Selain itu, salah satu keunggulannya dari sudut pandang ekologi dari turbin ulir Archimedes adalah *fish-friendly* (Purece & Corlan, 2021), karena dapat dilalui oleh ikan-ikan dengan ukuran tertentu.

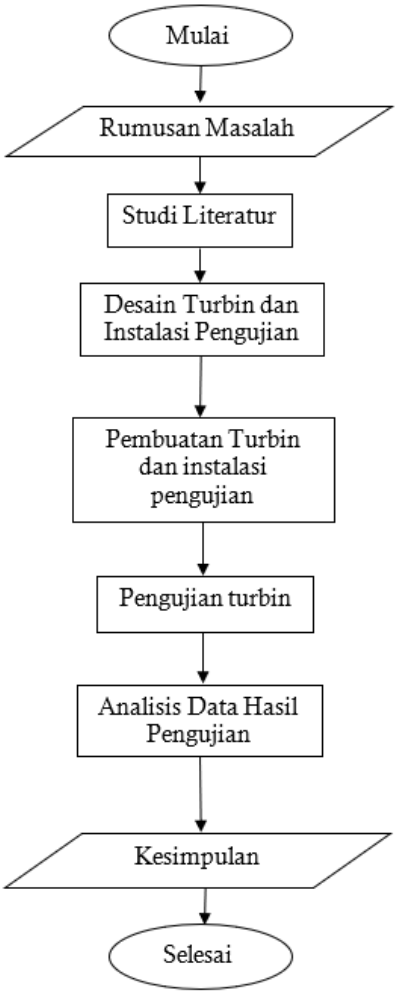
Parameter geometri ulir Archimedes diatur oleh parameter-parameter eksternal (jari-jari luar, panjang, dan kemiringan) dan parameter-parameter internal (jari-jari bagian dalam, jumlah sudu, dan *pitch* sudu) (Rorres, 2000). Penelitian mengenai jumlah sudu yang dilakukan Erinofiardi dkk, menunjukkan bahwa dengan bertambahnya jumlah sudu, efisiensi dan daya listrik dapat ditingkatkan hingga jumlah sudu tertentu (Erinofiardi, et al., 2022). Hanya saja, semakin banyak sudu semakin rumit dalam proses manufaktur. Metode manufaktur tradisional memerlukan kemahiran keterampilan yang tinggi, sementara metode pencetakan 3D untuk turbin ulir Archimedes masih dalam tahap awal pengembangan (Ubando, et al., 2022). Berdasarkan data penelitian Erinofiardi dkk, efisiensi turbin ulir Archimedes satu sudu masih di atas 70% pada putaran 25 hingga 40 rad/s.

Parameter lain yang mempengaruh kinerja turbin Ulir Archimedes adalah kemiringan poros turbin. Kemiringan ini berbanding lurus terhadap *head*. Eksperimen dan simulasi CFD yang dilakukan oleh Dellinger, et al., dengan variasi kemiringan 10 ° hingga 38 ° pada turbin Ulir Archimedes dengan sudu tiga, empat dan lima menunjukkan performa terbaik terletak pada variasi sudut 20 ° hingga 24,5 ° (Dellinger, et al., 2019). Pengujian turbin Ulir Archimedes dengan variasi kemriringan mulai dari 25°-30° menunjukkan performa yang lebih baik terdapat pada sudut terbesar (Kusumanto, et al., 2023). Sementara itu, penelitian lain yang dilakukan pada variasi kemiringan 30 ° hingga 90° oleh Muzaka dkk menunjukkan bahwa performa terbaik ada pada sudut 60 ° (Muzaka, et al., 2021). Ketiga penelitian tersebut dilakukan dengan geometri yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa setiap turbin memiliki karakteristik performa masing-masing tergantung parameter geometrinya sehingga perlu dilakukan pengujian.

Penelitian ini bertujuan untuk mendesain dan menguji performa sebuah turbin Ulir Archimedes dengan *head* rendah. Jumlah sudu turbin yang digunakan adalah satu sudu dengan pertimbangan lebih mudah dalam proses manufaktur. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan *head* yang tentu saja berkorelasi dengan sudut kemiringan turbin secara geometri untuk melihat karakteristik performa turbin yang dibuat.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode ekperimen dalam mendapatkan performa dari turbin Ulir Archimedes. Gambar 1 berikut memberikan paparan ringkas diagram alir yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Perancangan Ulir Archimedes

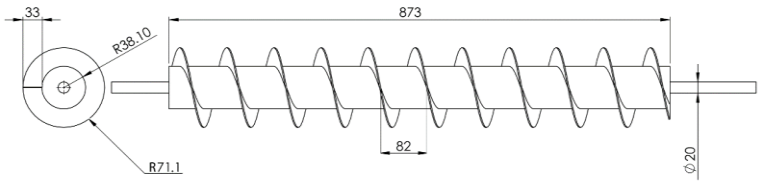
Nilai parameter-parameter tak berdimensi optimum yang digunakan untuk menentukan geometri Ulir Archimedes satu sudu sebagai berikut (Tabel 1). Dengan menggunakan parameter-parameter tersebut, didapatkan dimensi dari turbin Ulir Archimedes (Tabel 2) yang digunakan dalam penelitian ini. Visualisasi geometri turbin terlihat pada Gambar 2.

Tabel 1. Parameter Tak Berdimensi Ulir Archimedes untuk satu sudu (Rorres, 2000)

No.	Parameter	Simbol	Nilai
1.	Rasio radius optimal	ρ^*	0,5358
2.	Rasio *Pitch* optimal	λ^*	0,1285

Tabel 2. Parameter Geometri Turbin Ulir Archimedes

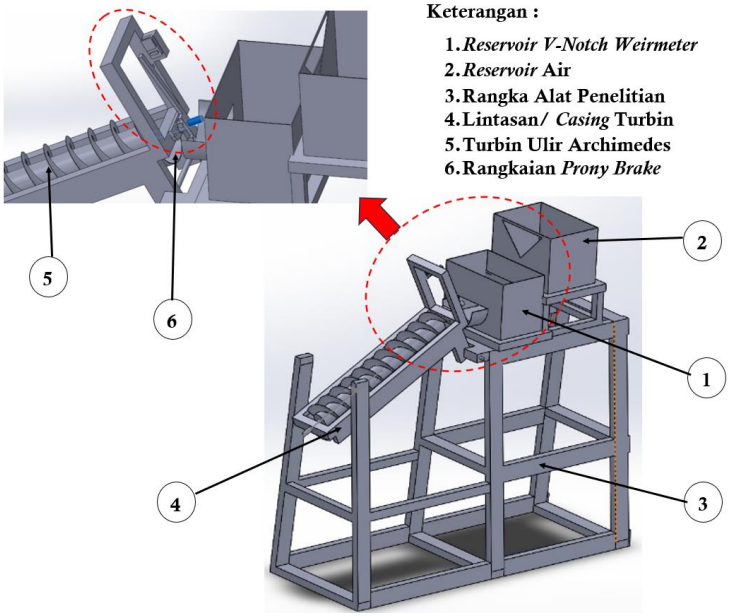
No.	Parameter	Nilai	Satuan
1.	Desain *head*	500	mm
2.	Jumlah Sudu	1	buah
3.	Jarak *Pitch*	82	mm
4.	Jari-jari Dalam	38	mm
5.	Jari-jari Luar	71	mm
6.	Panjang Turbin	873	mm



Gambar 2. Desain Ulir Archimedes

Perancangan Instalasi Pengujian

Langkah perancangan instalasi pengujian dilakukan untuk proses pengambilan data. Gambar desain turbin dan instalasi pengujian dilakukan dengan menggunakan *software* CAD.



Gambar 3. Skema Instalasi Pengujian

Gambar 3 menunjukkan skema alat uji penelitian yang akan dibuat yang terdapat terdiri dari *reservoir* V-Notch Weirmeter, *reservoir* air sebagai bak penenang aliran setelah keluar dari pipa, rangka, lintasan/ *casing* turbin, turbin ulir Archimedes, dan rangkaian *prony brake. Prony brake* merupakan sebuah rem torsi yang digunakan untuk mencari besarnya nilai torsi. Weirmeter V-Notch digunakan untuk mengukur besarnya nilai debit dalam instalasi pengujian.

Pengambilan Data

Pengambilan data dalam eksperimen ini dilakukan dengan beberapa variasi *head*, yaitu 300, 500, dan 700 mm. Pengambilan data dilakukan di Laboratorium Terpadu Institut Teknologi Kalimantan dengan menggunakan instalasi pengujian turbin yang telah dirancang (Gambar 4). Tujuan dari pengambilan data ini untuk mengetahui performa aktual dari turbin. Data yang diukur

adalah beban pengereman menggunakan neraca digital dan juga putaran pada turbin menggunakan *tachometer* dengan spesifasiki terangkum pada Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi Peralatan yang digunakan

No.	Peralatan	Nilai	Satuan
1.	*Tachometer*		
	Range	2,5 – 999,9	rpm
	Resolusi	0,1	rpm
2.	Neraca digital		
	Kapasitas	500	gram
	Akurasi	0,1	gram

Gambar 4. Pengujian Turbin Ulir Archimedes

Perhitungan Daya dan Efisiensi

Parameter performa turbin ulir Archimedes pada penelitian ini adalah daya turbin dan efisiensi mekanis (η_m). Efisiensi mekanis turbin didefinisikan sebagai hasil bagi antara daya mekanis (P_m) pada poros yang dihasilkan oleh turbin terhadap potensi daya (P_w) yang dimiliki oleh aliran air, secara matematis ditunjukkan dengan persamaan 1 (Shahverdi, et al., 2020).

$$\eta_m = \frac{P_m}{P_w} \quad (1)$$

Daya mekanis (Pm) yang dihasilkan oleh turbin dipengaruhi oleh torsi (T) dan putaran(ω) pada poros. Hubungan antara ketiganya ditunjukkan oleh persamaan 2. Torsi dan putaran didapatkan melalui pengukuran dengan menggunakan *prony brake* dimana besar torsi ditentukan dengan besarnya gaya (F) pengereman dan panjang (r) lengan *prony brake* (persamaan 3) (Çengel & Cimbala, 2017).

$$P_m = T\omega \quad (2)$$

$$\mathrm{T} = Fr \quad (3)$$

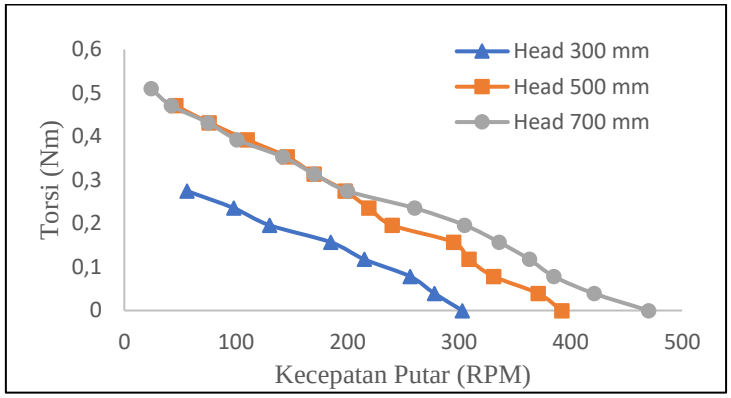
Potensi daya (P_w) yang dimiliki oleh aliran air ditentukan oleh besarnya massa jenis (ρ), percepatan gravitasi (g), debit (Q), serta *head* (H) bersih aliran. Hubungan parameter-parameter tersebut ditunjukkan oleh persamaan 4 berikut (Pritchard & Leylegian, 2010).

$$P_w = \rho g Q H \quad (4)$$

Debit air pada instalasi yang digunakan diukur dengan menggunakan Weirmeter V-Notch dengan menggunakan korelasi berikut (Persamaan 5) (Pritchard & Leylegian, 2010).

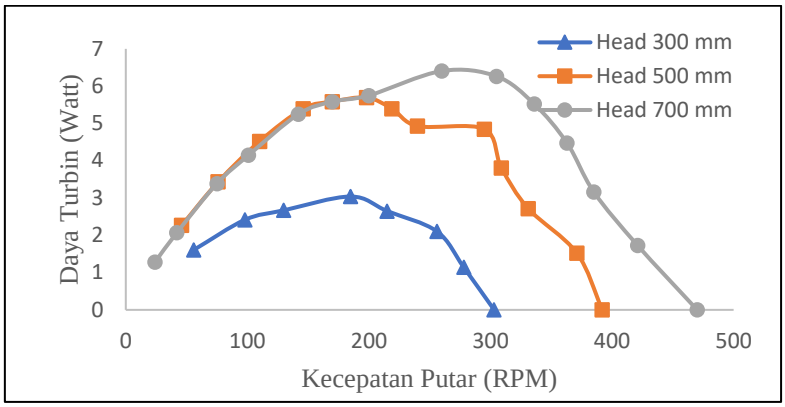
$$Q = 1{,}38h^{2{,}5} \quad (5)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN



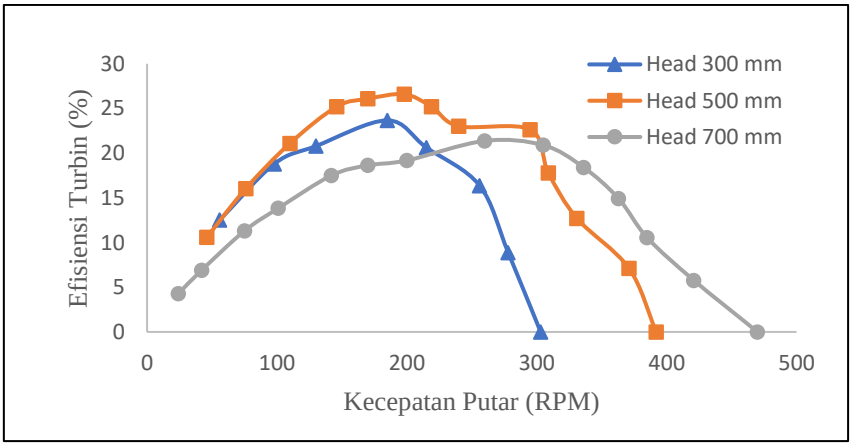
Gambar 5. Hubungan Kecepatan Putar dan Torsi

Gambar 5 menunjukkan hubungan antara kecepatan putar dan torsi yang terukur pada pengujian turbin ulir Archimedes. Secara umum, nilai torsi akan berkebalikan dengan nilai kecepatan putarnya. Hasil yang sama juga terlihat pada penelitian yang dilakukan oleh Erinofiardi dkk (Erinofiardi, et al., 2022). Besarnya kecepatan putar turbin sangat dipengaruhi oleh *head* pada turbin karena semakin tinggi nilai *head* dari sebuah turbin maka semakin besar daya air yang didapatkan dimana besarnya daya air sangat dipengaruhi oleh gravitasi dan juga *head* turbin. Sedangkan untuk daya turbin sangat dipengaruhi oleh besarnya nilai torsi yang didapatkan dan juga dari kecepatan putar turbin. Hal ini dibuktikan pada pembebanan yang sama sebesar 0,14 kg di setiap variasi *head* yang berbeda yaitu 300 mm, 500 mm dan 700 mm didapatkan nilai torsi yang sama yaitu sebesar 0,235 Nm, tetapi memiliki nilai kecepatan putar yang berbeda, pada variasi *head* 300 mm didapatkan nilai kecepatan putar yaitu 56 rpm, pada variasi *head* 500 mm didapatkan nilai kecepatan putar yaitu 198 rpm, dan pada variasi *head* 700 mm didapatkan nilai kecepatan putar yaitu 200 rpm. Variasi *head* 300 mm menghasilkan kecepatan putar terendah, hal ini terjadi karena ketinggian *head* turbin yang hanya 300 mm membuat daya air kecil sehingga tidak dapat memutar turbin lebih cepat dibandingkan dengan variasi *head* yang lain. Sebaliknya variasi *head* 700 mm merupakan variasi *head* terbaik karena menghasilkan kecepatan putar tertinggi dikarenakan *head* turbin yang membuat daya air yang dipengaruhi *head* menjadi besar. Hasil data dari pengujian dengan variasi ketinggian 300 mm menunjukkan nilai kecepatan putar tertinggi sebesar 303 rpm dengan nilai torsi tertinggi sebesar 0,275 Nm. Hal ini terjadi karena pada *head* rendah kecepatan putar turbin tidak bisa mendapatkan nilai yang tinggi karena air yang melewati turbin tidak memiliki daya yang kuat untuk dapat memutar turbin setelah banyak beban diberikan. Pengujian dengan variasi *head* 500 mm menunjukkan nilai kecepatan putar tertinggi, yaitu 392 rpm (torsi tertinggi sebesar 0,471 Nm). Pengujian dengan variasi *head* 700 mm menghasilkan nilai kecepatan putar tertinggi, yaitu 470 rpm serta torsi tertingginya adalah 0,510 Nm.



Gambar 6. Hubungan Kecepatan Putar dan Daya Turbin

Hubungan antara kecepatan putar dan daya mekanis yang dihasilkan turbin dengan variasi tiga *head* ditunjukkan oleh Gambar 6. Grafik yang berbentuk kurva parabolik tersebut memberikan gambaran kepada kita bahwa daya maksimal yang dihasilkan turbin akan maksimal pada kecepatan putar tertentu, tergantung kondisi operasinya. Hal ini dibuktikan pada setiap variasi *head* yang berbeda yaitu 300 mm, 500 mm dan 700 mm memiliki besar nilai daya yang berbeda, pada variasi *head* 300 mm didapatkan besar nilai daya yaitu sebesar 3,039 Watt, pada variasi *head* 500 mm didapatkan besar nilai daya yaitu sebesar 5,692 Watt, dan pada variasi *head* 700 mm didapatkan besar nilai daya yaitu sebesar 6,407 Watt. Variasi *head* 300 mm menghasilkan daya terendah. Hal ini terjadi karena kecepatan putar turbin yang sangat kecil karena ketinggian *head* turbin yang hanya 300 mm membuat daya air kecil sehingga tidak dapat memutar turbin lebih cepat dibandingkan dengan variasi *head* yang lain. Sebaliknya variasi *head* 700 mm merupakan variasi *head* terbaik karena menghasilkan daya tertinggi. Hal ini terjadi karena kecepatan putar turbin yang sangat tinggi dikarenakan *head* turbin yang membuat daya air yang dipengaruhi *head* menjadi besar.



Gambar 7. Hubungan Kecepatan Putar dan Efisiensi Turbin

Gambar 7 memperlihatkan hubungan kecepatan putar terhadap efisiensi mekanis dari turbin. Efisiensi mekanis merupakan perbandingan antara daya mekanis yang dihasilkan pada porot turbin terhadap potensi daya yang terkandung dalam aliran air. Nilai efisiensi mekanis sangat dipengaruhi oleh kemampuan alat dalam menyerap potensi daya dalam aliran air yang tersedia untuk dapat dikonversi menjadi daya mekanis pada poros turbin. Berdasarkan hasil pengolahan data, didapatkan efisiensi tertinggi setiap variasi *head* 300 mm, 500 mm dan 700 mm, adalah 23,67%, 26,59% dan 21,40%. Berbeda dengan daya mekanis yang dihasilkan yang cenderung naik sesuai dengan kenaikan *head*, efisiensi mekanis tertinggi terletak pada *head* 500 mm. Ini menunjukkan bahwa pada *head* 700 mm, kenaikan daya mekanis tidak sebanding atau

lebih kecil dibandingkan dengan kenaikan potensi daya pada *head* tersebut. Penelitian yang dilakukan Muzaka dkk (Muzaka, et al., 2021), juga memperlihatkan bahwa perfoma terbaik tidak selalu berada pada kondisi sudut inklinasi tertinggi (nilai sudut inklinasi sebanding dengan nilai *head*).

a)Tanpa pembebanan **b) Pembebanan Maksimal**

Gambar 8. Dokumentasi pengujian turbin pada variasi *head* 300 mm

Pada variasi *head* 300 mm dengan tanpa pembebanan (Gambar 8a) terlihat air sangat stabil karena putaran turbin yang cepat membuat air mampu melewati turbin dengan sangat baik sehingga tidak adanya air yang terbuang. Stabil memiliki arti bahwa air dapat berhasil melewati turbin tanpa terhenti dan menjadi tertumpuk pada lintasan turbin. Pada variasi *head* 300 mm dengan beban 0,08 Kg dapat terlihat bahwa air sudah sampai memenuhi lintasan dan mulai sedikit demi sedikit keluar dari lintasan, namun pada pembebanan ini didapatkan nilai efisiensi tertinggi pada variasi *head* 300 mm karena air yang memenuhi lintasan dapet melewati turbin dengan baik karena kecepatan putar turbin yang masih cukup untuk membuat air mampu melewati turbin tanpa membuat turbin tenggelam. Pada Gambar 8b variasi *head* 300 mm turbin berputar cukup lambat karena daya air yang dipengaruhi oleh *head* kecil dan juga air yang sudah memenuhi lintasan dan membuat turbin tenggelam sehingga membuat putaran turbin menjadi lambat. Hal ini karena pengaruh air yang melewati turbin, jika terlalu banyak merendam turbin, maka turbin akan lambat berputar, begitu pula sebaliknya, jika turbin tidak tergenang air, turbin tidak akan berputar, jadi antara tenggelam turbin dan aliran air harus seimbang (Juliana, Weking, & Jasa, 2018). Air yang keluar dari lintasan juga membuat daya air terbuang sehingga membuat daya turbin berkurang yang membuat efisiensi turbin menjadi kecil.

Variasi *head* 700 mm memang memiliki nilai daya yang paling tinggi yaitu sebesar 6,407 Watt namun efisiensi yang didapatkan lebih kecil yaitu hanya sebesar 21,40 % dibandingkan dengan variasi *head* 500 mm yang mendapatkan daya sebesar 5,692 Watt namun memiliki efisiensi sebesar 26,59%. Hal ini terjadi karena semakin tinggi *head* maka akan semakin besar daya air yang didapatkan, namun untuk mendapatkan efisiensi yang tinggi diperlukan daya turbin yang juga besar yang berasal dari kecepatan putar, dimana dalam variasi *head* 700 mm penambahan kecepatan putar tidaklah sebanding dengan besarnya nilai *head* sehingga daya air yang dimana seharusnya dapat menghasilkan daya sebesar 29,94 Watt hanya dapat menghasilkan daya turbin sebesar 6,407 Watt, dibandingkan dengan variasi *head* 500 mm dimana memiliki nilai daya air sebesar 21,41 Watt namun daya turbin yang dapat dihasilkan yaitu sebesar 5,692 Watt sehingga mendapatkan nilai efisiensi yang lebih besar dibandingkan dengan variasi *head* 700 mm. Pada variasi *head* 500 mm dan 700 mm memiliki kendala yang juga sama seperti pada variasi *head* 300 mm, dimana pada awal tanpa pembebanan air dapat melewati turbin dengan sangat stabil namun setelah diberi pembebanan maka putaran turbin yang melambat membuat air yang melewati turbin juga ikut melambat sehingga air akan tertumpuk sebelum bisa masuk ke dalam turbin sehingga pada akhirnya banyak air yang terbuang keluar yang membuat daya turbin kecil jika dibandingkan dengan daya air yang seharusnya bisa didapatkan. Oleh karena itu nilai efisiensi turbin akan mencapai titik maksimal pada beban dimana kecepatan putar turbin sesuai dengan air yang akan masuk ke dalam turbin sehingga tidak banyak air yang terbuang.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Perlu dilakukan pengujian untuk mendapatkan kondisi performa aktual dari turbin Ulir Archimedes karena setiap mesin memiliki karakteristik performa (daya dan efisiensi) masing-masing. Berdasarkan hasil eksperimen turbin Ulir Archimedes dengan satu sudu pada tiga kondisi *head*, yaitu 300 mm, 500 mm, dan 700 mm, didapatkan bahwa : 1) Daya tertinggi masing-masing variasi *head* tersebut berturut-turut adalah 3,039 Watt, 5,692 Watt dan 6,407 Watt. Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan daya yang dihasilkan berbanding lurus dengan kenaikan daya potensial yang dimiliki aliran; dan 2) Efisiensi mekanis tertinggi turbin pada masing-masing variasi *head* adalah 23,67%, 26,59% dan 21,40%. Efisiensi ini terbaik tidak selalu pada daya tertinggi dari ketiga variasi *head*, karena pertambahan daya mekanis bisa saja tidak sama atau sebanding dengan pertambahan daya potensial aliran.

Saran

Desain dan pengujian turbin ulir Archimedes dengan menggunakan selubung/ *shroud* di sisi luar sudu perlu dilakukan karena adanya selubung/ *shroud* menghilangkan kerugian akibat celah antara sudu dan lintasan/ *casing*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada Institut Teknologi Kalimantan yang telah menyediakan tempat dan mendukung secara finansial penelitian ini sehingga dapat diselesaikan dengan baik.

REFERENSI

Alonso-Martinez, M., Sierra, J. L., Díaz, J. J., & Martinez-Martinez, J. E. (2020). A New Methodology to Design Sustainable Archimedean Screw Turbines as Green Energy Generators. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 17*, 9236. https://doi.org/10.3390/ijerph17249236.

Bilgili, F., Lorente, D. B., Kus¸kaya, S., & Ünlü, F. (2021). The role of hydropower energy in the level of CO2 emissions: An application of continuous wavelet transform. *Renewable Energy, 178*, 283-294. https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.06.015.

BPS. (2022). *Kapasitas Terpasang PLN menurut Jenis Pembangkit Listrik (MW), 2020-2022*. (Badan Pusat Statistik (BPS - Statistics Indonesia)) Retrieved Maret 29, 2024, from https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MzIxIzI=/kapasitas-terpasang-pln-menurut-jenis-pembangkit-listrik--mw-.html

Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2017). *FLUID MECHANICS: FUNDAMENTALS AND APPLICATIONS (4th ed).* New York: McGraw-Hill Education.

Dellinger, G., Simmons, S., Lubitz, W. D., Pierre-Andr, & Dellinger, N. (2019). Effect of slope and number of blades on Archimedes screw generator power output. *Renewable Energy, 136*, 896-908. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.060.

Erinofiardi, E., Koirala, R., Shiwakoti, N., & Date, A. (2022). Sustainable Power Generation Using Archimedean Screw Turbine: Influence of Blade Number on Flow and Performance. *Sustainability, 14(23)*, 15948. https://doi.org/10.3390/su142315948.

Gogoi, P., Handique, M., Purkayastha, S., & Newar, K. (2018). Potential of Archimedes Screw Turbine in Rural India Electrification: A Review. *ADBU Journal of Electrical and Electronics*

Engineering (AJEEE), 2(1), 30-35. Retrieved from : https://journals.dbuniversity.ac.in/ojs/index.php/AJEEE/article/view/554.

Hedia, A. I., Mouris, E. M., & Shehata, O. (2022). Design and analysis of Analytical Model of an Archimedes Screw Turbine. *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering (ijasre), 8(7)*, 58-67. https://doi.org/10.31695/IJASRE.2022.8.7.5 .

Hidayanto, N., Sansuadi, Mazidah, N., & Nugroho, R. C. (2023). *STATISTIK KETENAGALISTRIKAN 2022.* Jakarta: Sekretariat Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan.

Juliana, I. P., Weking, A. I., & Jasa, L. (2018). Pengaruh Sudut Kemiringan Head Turbin Ulir dan Daya Putar Turbin Ulir dan Daya Output Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro, 17(3)*, 393-400. https://doi.org/10.24843/MITE.2018.v17i03.P14 .

Kusumanto, R., Nugraha, M. N., & Plant, I. M. (2023). Archimedes Screw Turbine Application on Portable. *Jurnal Polimesin, 21(1)*, 88-92. Retrieved from : https://e-jurnal.pnl.ac.id/polimesin/article/view/3126/0.

Li, L., Lin, J., Wu, N., Xie, S., Meng, C., Zheng, Y., . . . Zhao, Y. (2022). Review and outlook on the international renewable energy development. *Energy and Built Environment, 3*, 139-157. https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2020.12.002.

Muzaka, K., Pamuji, D. R., Wahid, M. A., Hadi, S., & Prasetyo, J. D. (2021). Effect of Archimedes Screw Turbine Shaft Inclination on Output Power. *International Journal of Software & Hardware Research in Engineering (IJSHRE), 9(3)*, 83-86. DOI: 10.26821/IJSHRE.9.3.2021.9314.

Østergaard, P. A., Duic, N., Noorollahi, Y., Mikulcic, H., & Kalogirou, S. (2020). Sustainable Development Using Renewable Energy Technology. *Renewable Energy, 146*, 2430-2437. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.094.

Pritchard, P. J., & Leylegian, J. C. (2010). *Fox and McDonald's Introduction to Fluid Mechanics (8th ed).* New York: John Wiley & Sons.

Purece, C., & Corlan, L. (2021). Archimedean screw as fish-friendly turbines for harnessing hydropower potential. *10th International Conference on Thermal Equipments, Renewable Energy and Rural Development (TE-RE-RD 2021)* (p. 286). Bucharest: EDP Sciences. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128602007 .

Rorres, C. (2000). The Turn of The Screw: Optimal Design of An Archimedes Screw. *Journal of Hydraulic Engineering, 126(1)*, 72-80. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9429(2000)126:1(72).

Shahverdi, K., Loni, R., Ghobadian, B., Gohari, S., Marofi, S., & Bellos, E. (2020). Numerical Optimization Study of Archimedes Screw Turbine (AST): A case study. *Renewable Energy, 145*, 2130-2143. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.124.

Ubando, A. T., III, I. A., Peradilla, M. S., Sy, C. L., Calapatia, A. M., & Chen, W.-H. (2022). Sustainable Manufacturability of Archimedes Screw Turbines: A Critical Review. *Journal of Manufacturing and Materials Processing, 6(6)*, 161. https://doi.org/10.3390/jmmp6060161.