

# KAJI EKSPERIMENTAL PENGARUH *HEAD* TERHADAP PERFORMA TURBIN ULIR ARCHIMEDES TIGA SUDU

<sup>1</sup>Alfi Nandar,<sup>2\*</sup>Gad Gunawan,<sup>3</sup>Doddy Suanggana,<sup>4</sup>Alfian Djafar

<sup>1-4</sup>Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknologi Dan Proses, Institut Teknologi Kalimantan

<sup>1-4</sup>Jl. Soekarno Hatta KM 15 Karang Joang Balikpapan Utara, Kota Balikpapan, Kalimantan Timur 76127

<sup>1</sup>03171011@student.itk.ac.id, <sup>2\*</sup>gad\_gunawan@lecturer.itk.ac.id,

<sup>3</sup>doddy.suanggana@lecturer.itk.ac.id, <sup>4</sup>alfian.djafar@lecturer.itk.ac.id

## Abstrak

Indonesia masih memiliki potensi energi air yang belum dimanfaatkan secara maksimal. Turbin Ulir Archimedes merupakan salah satu tipe turbin yang dapat digunakan untuk mengekstraksi energi dari dalam aliran air, khususnya untuk head rendah. Banyak hal yang mempengaruhi performa Turbin Ulir Archimedes, seperti head, debit, jumlah sudu, pitch ratio dan lain-lain. Penelitian ini berfokus pada pengaruh variasi head terhadap performa (daya dan efisiensi mekanis) dari Turbin Ulir Archimedes dengan jumlah sudu tiga. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah eksperimen dengan variasi head yang digunakan 300 mm, 500 mm, dan 700 mm pada debit 0,00436 m<sup>3</sup>/s. Hasil eksperimen pada variasi head, didapatkan daya mekanis tertinggi untuk head 300 mm sebesar 4,657 Watt pada putaran 189 rpm, untuk head 500 rpm sebesar 5,569 Watt pada putaran 113 rpm, dan untuk head 700 mm 6,690 Watt pada putaran 181 rpm. Berdasarkan data tersebut, daya mekanis meningkat seiring dengan peningkatan head. Efisiensi turbin menunjukkan hasil yang berkebalikan dengan daya, efisiensi cenderung turun seiring peningkatan head. Efisiensi untuk ketiga variasi tersebut secara berurutan adalah 36,273 %, 26,012 %, dan 22,323 %. Hal ini menunjukkan setiap turbin memiliki daerah kerja optimal tertentu, peningkatan potensi air belum tentu sebanding dengan ekstraksi energi pada turbin.

**Kata Kunci:** Archimedes, Daya, head

## Abstract

Indonesia still has water energy potential that has not been utilized optimally. The Archimedes screw turbine is a type of turbine that can be used to extract energy from water flows, especially for low heads. Many things influence the performance of an Archimedes Screw Turbine, such as head, discharge, number of blades, pitch ratio and so on. This research focuses on the effect of head variations on the performance (power and mechanical efficiency) of an Archimedes Screw Turbine with three blades. The method used in this research was experimental with head variations used of 300 mm, 500 mm and 700 mm at a discharge of 0.00436 m<sup>3</sup>/s. Experimental results on head variations showed that the highest mechanical power for the 300 mm head was 4.657 Watts at 189 rpm, for the 500 rpm head it was 5.569 Watts at 113 rpm, and for the 700 mm head 6.690 Watts at 181 rpm. Based on these data, mechanical power increases with increasing head. Turbine efficiency shows the opposite results to power, efficiency tends to decrease as head increases. The efficiency for the three variations respectively is 36.273%, 26.012%, and 22.323%. This shows that each turbine has a certain optimal working area, the increase in water potential is not necessarily proportional to the energy extraction in the turbine.

**Keywords:** Archimedes, Power, head

## PENDAHULUAN

Energi listrik lambat laun telah menjadi salah satu kebutuhan pokok kehidupan sekarang ini. Di Indonesia, sebagian besar suplai energi listrik dilakukan oleh PT PLN (Persero) yang merupakan salah satu Badan Usaha Milik Negara (BUMN). Data kementerian ESDM[1] menunjukkan bahwa bahan bakar fosil masih mendominasi sebagai sumber bahan bakar pembangkit listrik di Indonesia. Sebagian besar pembangkit berbahan bakar batu bara. Permasalahan utama bahan bakar fosil adalah ketersediaannya di alam terbatas dan perlu waktu yang lama untuk pembentukan secara alami sedangkan kebutuhan energi dari hari ke hari terus mengalami peningkatan. Untuk menghindari terjadinya krisis energi, pencarian energi baru dan pemanfaatan energi terbarukan yang ada perlu ditingkatkan. Salah satu energi terbarukan yang berlimpah di alam adalah energi dalam aliran air. Adanya matahari membuat siklus Hidrologi di permukaan Bumi terjadi terus menerus sehingga aliran air hampir ada di manapun. Potensi energi air di Indonesia sangat besar. Hampir semua daerah di Indonesia dialiri oleh sungai besar atau kecil. Pulau Kalimantan memiliki kontur yang relatif landai sehingga *head* aliran juga rendah. Ekstraksi energi dari aliran air menggunakan turbin air yang sekarang ini terdiri dari berbagai tipe tergantung potensi debit dan *head* dari aliran. Salah turbin air adalah Turbin Ulir Archimedes yang sangat cocok untuk *head* air kurang dari 10 meter

[2]. Hal ini sesuai dengan potensi aliran yang ada di Kalimantan.

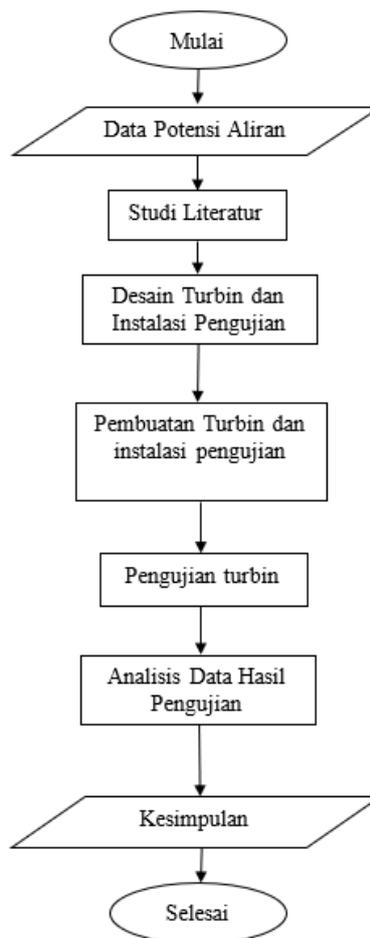
Penelitian yang dilakukan Rorres dkk[3] memberikan desain ulir yang optimal dengan menggunakan parameter-parameter internal tertentu. Eksperimen yang dilakukan Lashofer menunjukkan efisiensi rata-rata dari tujuh desain turbin Ulir Archimedes adalah 69%. Enam dari desain turbin tersebut mencapai efisiensi 75%[4]. Penelitian-penelitian untuk mendapatkan desain Ulir Archimedes yang optimal terus dilakukan. Performa optimal dari turbin ulir Archimedes juga dipengaruhi sudut kemiringan turbin tersebut. Pengujian menunjukkan performa optimal terletak pada sudut kemiringan turbin antara 28° sampai 35°[5]–[8]. Studi analitis tentang parameter pada aliran masuk dan geometri turbin Ulir Archimedes dilakukan untuk memprediksi efisiensi tertinggi yang dapat dicapai dapat dilihat pada penelitian Nuernbergk dkk[9]. Penelitian David dkk[10] dan Dellinger dkk[11] menunjukkan gap atau celah antara sudu turbin dan silinder luar turbin juga dapat menurunkan efisiensi turbin karena ada sebagian aliran air yang akan melalui gap tersebut. Pendekatan Computational Fluid Dynamics (CFD) juga dilakukan untuk menganalisis fenomena yang terjadi pada gap dan menyusun metodologi baru dalam mendesain turbin Ulir Archimedes juga terus dilakukan oleh Dellinger dkk[12]. Pengujian turbin Ulir Archimedes tiga sudu menunjukkan daya yang dihasilkan sebesar 16,97 Watt pada putaran 350 rpm [13]. Oleh karena itu,

penelitian ini berfokus untuk mengetahui pengaruh variasi *head* terhadap daya dan efisiensi mekanis Turbin Ulir *Archimedes* dengan jumlah sudu tiga buah.

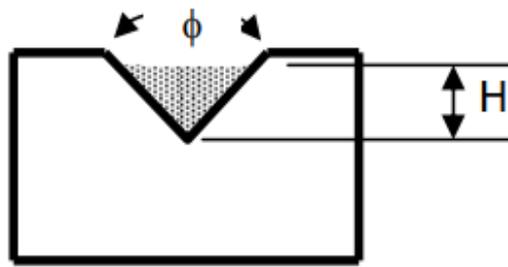
## METODE PENELITIAN

Penelitian ini berbasis eksperimen dan langkah-langkah pada pelaksanaan penelitian ini tergambar melalui diagram alir yang ditunjukkan oleh Gambar 1. Penelitian dimulai dengan melihat potensi energi air yang ada. Fokus dari penelitian ini adalah pemanfaatan aliran air dengan *head* yang rendah. Berdasarkan potensi tersebut, Turbin

Ulir *Archimedes* merupakan salah satu jenis turbin yang cocok. Studi literatur dilakukan untuk melihat perkembangan penelitian turbin Ulir *Archimedes* agar dapat mendesain turbin dengan performa yang baik. Selanjutnya, parameter-parameter desain dari penelitian sebelumnya digunakan untuk mendapatkan desain turbin yang optimal. Proses selanjutnya adalah pembuatan turbin dan instalasi pengujian yang telah didesain. Pengujian performa turbin kemudian dilakukan pada instalasi pengujian pada laboratorium. Selanjutnya data-data pengujian ini diolah sehingga menunjukkan performa dari turbin Ulir *Archimedes*.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2 Weir V-Notch, dengan sudut 90°[15].

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

### Pengukuran Debit

Potensi energi air dihitung berdasarkan debit dan *head*. Pengukuran debit dilakukan menggunakan Weirmeter V-Notch dengan sudut 90° seperti terlihat pada Gambar 2 [14]. Weirmeter V-Notch ini merupakan sebuah tangki berbentuk kotak. Air dialirkan masuk ke dalam kotak kemudian keluar pada sisi kotak yang berbentuk V. Pada saat pengujian data ketinggian air (H) pada V-Notch dicatat, kemudian debit dihitung menggunakan persamaan 1 berdasarkan data ketinggian tersebut. Weirmeter V-Notch ditempatkan sebelum turbin Ulir Archimedes.

### Performa Turbin

Dalam mengukur performa turbin, dua besaran yang umumnya digunakan adalah daya mekanis dan efisiensi mekanis. Daya mekanis ( $P_M$ ) pada poros turbin sebanding dengan torsi (T) dan kecepatan sudut ( $\omega$ ). Daya mekanis turbin dapat dinyatakan dengan menggunakan persamaan 2 berikut.

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

Pengukuran torsi dilakukan dengan menggunakan *prony brake*. Poros turbin

dihubungkan dengan *prony brake* dan dilakukan pembebanan. Proses pembebanan dilakukan dengan meningkatkan cengkraman bagian *prony brake* yang berfungsi sebagai rem pada poros. Salah satu ujung batang *prony brake* dihubungkan ke timbangan digital untuk mengukur beban pengereman. Torsi didapatkan dari hasil kali antara beban pengereman dan panjang batang dari poros hingga timbangan.

Efisiensi mekanis ( $\eta_m$ ) turbin air merupakan perbandingan antara daya mekanis yang dihasilkan turbin terhadap dihasilkan turbin terhadap potensi daya aliran air ( $P_w$ ) seperti yang terlihat pada persamaan 3 [16]. Efisiensi mekanis ini menunjukkan kemampuan turbin dalam mengekstraksi potensi energi aliran menjadi energi mekanis. Pada potensi daya air yang sama, semakin besar efisiensi, semakin besar pula daya mekanis yang diperoleh .

$$\eta_m = \frac{P_m}{P_w} \times 100 \% \quad (3)$$

Potensi daya aliran air dipengaruhi oleh debit (Q) dan *head* (h) secara matematis dapat dituliskan pada persamaan 4 berikut.

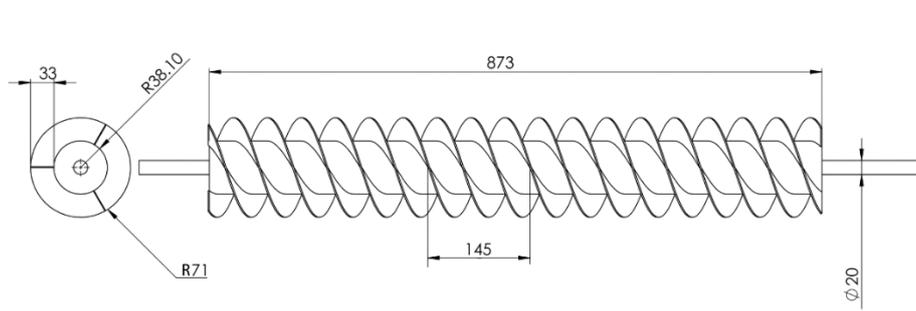
$$P_w = \rho g Q h \quad (4)$$

## Perancangan Alat Penelitian dan Eksperimen

Proses perancangan untuk Turbin Ulir *Archimedes* memiliki beberapa tahapan yaitu proses perancangan desain turbin tiga sudu, dilanjutkan desain kerangka serta turbin air, dan penggabungan rangkaian Turbin Ulir *Archimedes*. Perancangan Turbin Ulir *Archimedes* Tiga Sudu diperlukan dimensi diameter turbin, diameter dalam turbin, panjang turbin, dan jarak *pitch* ulir turbin. Adapun desain dalam rancangan pada Turbin Ulir *Archimedes* dengan jumlah suu tiga buah yang akan digunakan untuk dilakukannya pengujian ditunjukkan oleh Gambar 3.

Turbin yang digunakan dalam eksperimen ini memiliki spesifikasi turbin yang dapat dilihat pada Tabel 1.

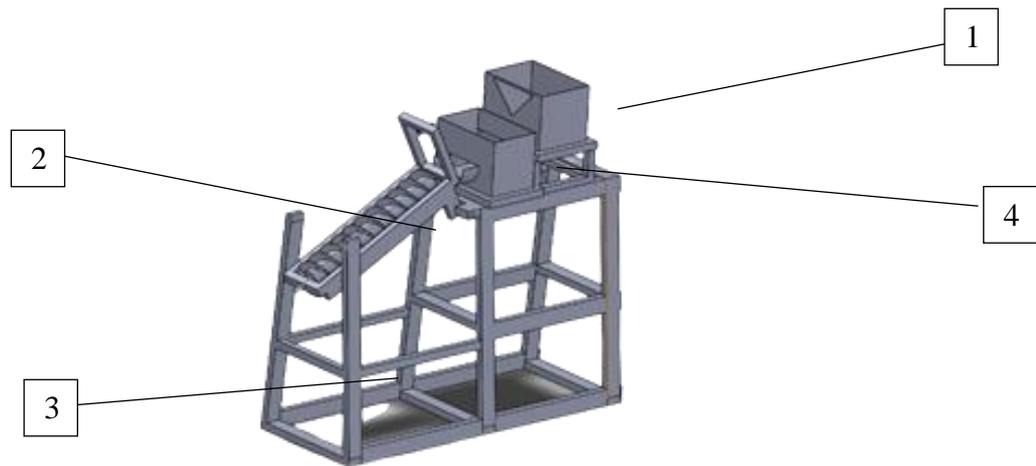
Penggabungan rangkaian pengujian turbin ulir pada penelitian ini dilakukan pada model turbin dan rangkaian penelitian. Proses penggabungan (*assembly*) dari setiap komponen yang telah dipilih dan disesuaikan pada penelitian ini menggunakan baut, *rivet*, dan mur. Kerangka turbin yang digunakan pada penelitian disesuaikan pada kondisi disaat eksperimen dilakukan. Adapun skema model Turbin Ulir *Archimedes* dan rangkaian pada penelitian ditunjukkan oleh Gambar 4 dan Gambar 5.



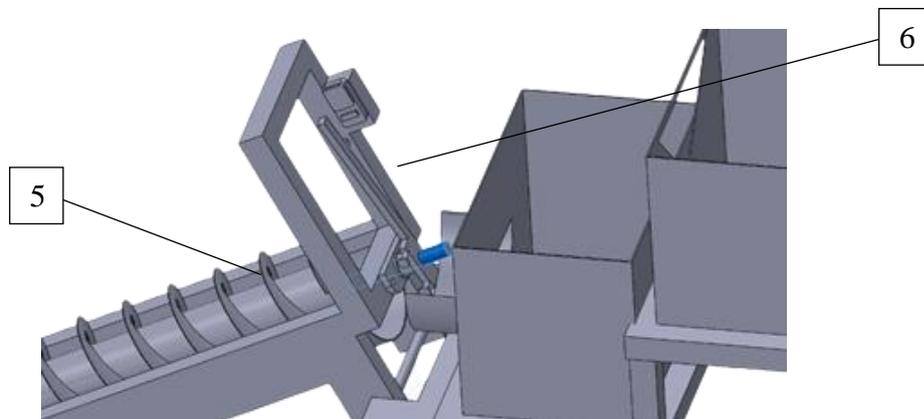
Gambar 3. Rancangan Turbin Ulir Archimedes

Tabel 1. Spesifikasi Turbin Ulir *Archimedes*

No	Keterangan	Nilai
1.	Jumlah Sudu	3 buah
2.	Jarak <i>Pitch</i> Ulir	145 mm
3.	Jari-Jari Luar Turbin	71 mm
4.	Jari-jari Dalam Turbin	38 mm
5.	Panjang Turbin	873 mm



Gambar 4. Skema Model Turbin Ulir *Archimedes*



Gambar 5. Skema *Prony Brake*

Berdasarkan skema yang telah ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5, berikut bagian-bagian yang terdapat pada skema model di atas.

1. *Reservoir V-Notch*
2. *Reservoir Air*
3. Rangka Alat Penelitian
4. Lintasan Air
5. Turbin Ulir *Archimedes* Tiga Sudu
6. Rangkaian *Prony Brake*

Eksperimen dimulai dengan melakukan pengaturan kondisi alat seperti Gambar 4. Turbin diatur sesuai dengan salah satu nilai variasi *head*, mulai dari yang kecil hingga

yang terbesar. variasi Aliran air di pompa ke bagian tangki 1. Debit diatur sesuai dengan yang diinginkan, kemudian dibiarkan dalam kondisi stabil terlebih dahulu sebelum dilakukan pengukuran debit pada Weirmeter V-Notch. Selain debit, data yang diperlukan adalah putaran turbin dan torsi yang dihasilkan. Untuk setiap variasi *head*, dilakukan pengereman bertahap pada poros turbin menggunakan *prony brake* untuk mendapatkan data putaran dan torsi. Ketika aliran air telah memutar turbin, data putaran mulai diukur tanpa melakukan pengereman (beban nol). Selanjutnya, diberikan

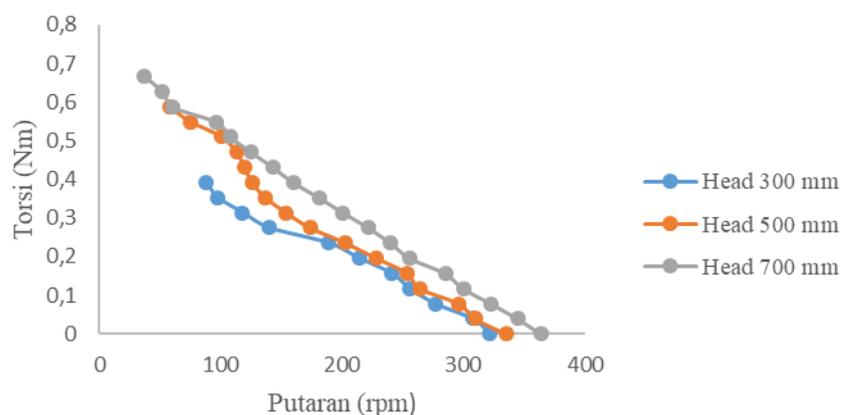
pengereman bertahap mulai dari yang kecil hingga poros berhenti (beban maksimal, putaran nol). Pengukuran putaran juga diambil pada setiap kenaikan pengereman sehingga didapatkan pasangan data putaran dan beban. Dari data ini, kemudian didapatkan nilai daya mekanis turbin.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

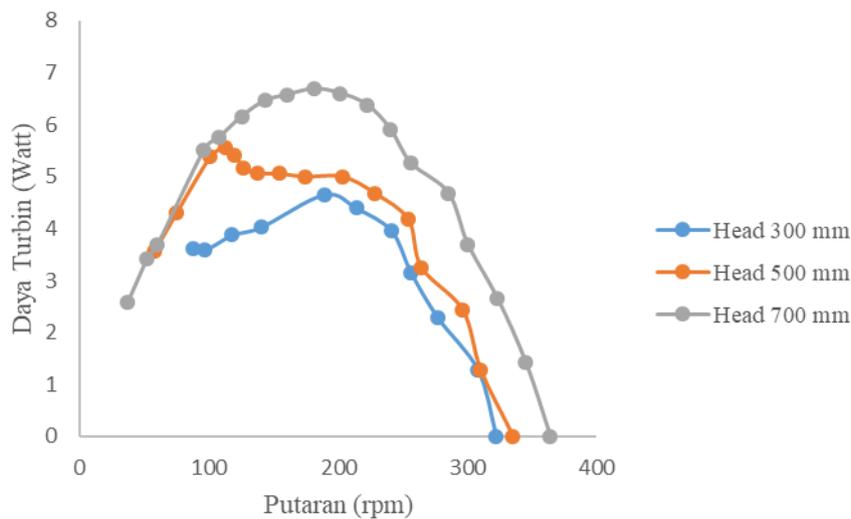
Pengolahan data dilakukan berdasarkan data hasil pengujian Turbin Ulir Archimedes yang dilakukan berdasarkan rancangan penelitian di atas. Perhitungan dilakukan menggunakan bantuan *software* pengolahan data tertentu dan kemudian disajikan dalam bentuk grafik. Grafik yang disajikan adalah grafik yang menunjukkan performa turbin, yaitu grafik hubungan antara putaran (rpm) dengan torsi (Nm), daya mekanis turbin (W), dan efisiensi turbin (%). Setiap grafik juga menunjukkan perbandingan besaran-besaran

tersebut untuk setiap variasi *head* (300 mm, 500 mm, dan 700mm).

Gambar 6 memperlihatkan pengaruh kecepatan putar turbin (rpm) terhadap torsi pada poros turbin (Nm) yang didapat dari masing-masing variasi *head* 300 mm, 500 mm, dan 700 mm pada pengujian turbin Ulir Archimedes Tiga Sudu. Grafik menunjukkan bahwa seiring dengan meningkatnya nilai torsi besarnya nilai putaran terus menurun akibat pembebanan dari *prony brake* hingga mencapai titik beban tertinggi yang mampu dicapai oleh turbin. *Head* mempunyai pengaruh pada performa turbin yang menghasilkan nilai putaran karena adanya perbedaan *head* yang dimana semakin tinggi dari 300 mm, 500 mm, dan 700 mm. Nilai *head* akan menghasilkan nilai putaran yang terus meningkat sesuai dengan tinggi turbin dari variasi *head* yang digunakan pada pengujian penelitian. Besarnya nilai torsi dipengaruhi oleh pembebanan pada saat pengujian berlangsung.



Gambar 6. Grafik Hubungan Putaran Turbin terhadap Torsi pada beberapa variasi *head*



Gambar 7. Grafik hubungan putaran terhadap daya turbin pada beberapa variasi *head*

Pada data hasil pengujian didapatkan nilai torsi tertinggi terjadi pada *head* 700 mm yang merupakan *head* tertinggi, karena semakin tinggi nilai *head* akan menambah kecepatan turbin yang berikutnya akan diberikan pembebanan sampai maksimal untuk dihitung nilai torsinya yang mengakibatkan kecepatan putar turbin semakin menurun tetapi mengalami kenaikan nilai torsi.

Gambar 7 memperlihatkan besarnya nilai kecepatan putar sangat dipengaruhi oleh ketinggian *head* pada turbin karena semakin tinggi nilai *head* maka akan semakin membuat kecepatan turbin semakin meningkat karena dipengaruhi oleh percepatan gravitasi dan juga *head* dari aliran air setiap variasi ketinggian mempengaruhi besarnya nilai daya turbin yang dihasilkan. Oleh karena itu, daya turbin yang dihasilkan pada setiap variasi *head* turbin memiliki hasil yang berbeda tiap variasi ketinggiannya 300 mm, 500 mm, dan 700 mm semakin tinggi *head* semakin

meningkat pula daya yang dihasilkan. Besarnya nilai daya yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh ketinggian *head* pada turbin karena semakin tinggi nilai *head* maka akan semakin besar pula sudut turbin yang membuat turbin akan lebih curam sehingga kecepatan putaran turbin (rpm) akan semakin meningkat dengan meningkatnya nilai daya air turbin.

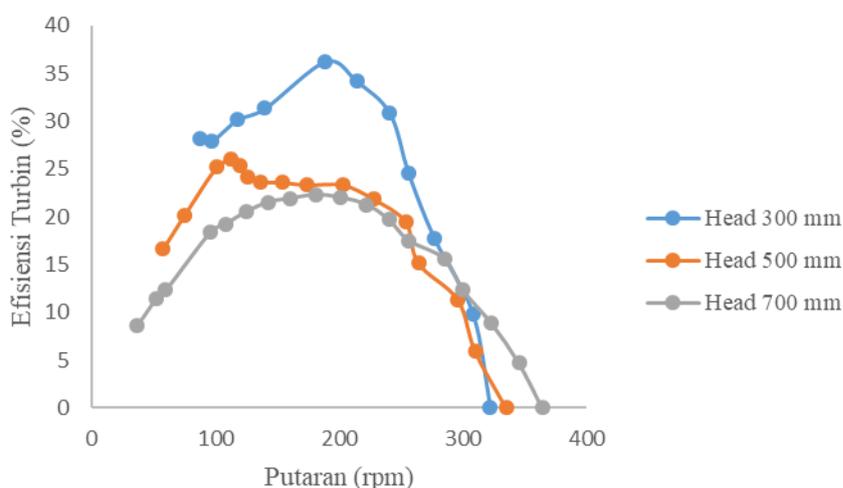
Selain itu, daya aliran air yang dihasilkan oleh setiap variasi *head* mempengaruhi besarnya nilai daya mekanis turbin yang dihasilkan. Berdasarkan grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 7, daya turbin yang dihasilkan pada *head* yang berbeda semakin meningkat. Besarnya nilai *head* yang digunakan maka daya aliran air pada setiap ketinggian turbin meningkat dan cenderung meningkatkan nilai daya mekanis turbin selama masih dalam kemampuan turbin. Hal ini disebabkan daya aliran air yang digunakan akan memutarakan turbin air sehingga akan

membuat hasil dari daya turbin yang dihasilkan akan meningkat diikuti dengan daya aliran air yang bertambah. Pada penelitian ini menunjukkan semakin besar kemiringan sudut turbin maka akan menghasilkan putaran turbin yang semakin besar, sehingga menghasilkan daya turbin yang semakin besar.

Gambar 8. memperlihatkan besarnya nilai efisiensi turbin yang terus meningkat sampai titik maksimal yang mampu diterima turbin dan kemudian turun karena pengaruh *head* turbin 300 mm, 500mm, dan 700 mm semakin tinggi *head* dapat menurunkan efisiensi turbin berikut juga halnya dengan kecepatan putar yang semakin berkurang karena pembebanan. Besarnya nilai efisiensi merupakan hasil dari perbandingan daya air dengan daya turbin dan besarnya nilai efisiensi sangat dipengaruhi oleh kemampuan alat dalam mengoptimalkan daya air yang tersedia untuk dapat dikonversi menjadi nilai

daya turbin.

Semakin besar sudut sumbu turbin semakin besar *head* antara sudu akibatnya menurunkan efisiensi turbin [17] akibat dari kemiringan sudut yang semakin curam maka pada *head* yang semakin tinggi seperti 500 mm, dan 700 mm ketika dilakukan pembebanan turbin, aliran air pada lintasan akan semakin meningkat bahkan dapat mencapai titik paling atas turbin dimana bukannya dapat memutar turbin akan tetapi malah menyebabkan torsi balik pada sudu sehingga turbin tidak dapat memutar hal tersebut membuat turbin tidak dapat mengoptimalkan energi aliran untuk menghasilkan daya karena itulah *head* turbin terendah yaitu 300 mm memiliki perbandingan daya turbin dan daya aliran yang tidak terlalu jauh sehingga menghasilkan nilai efisiensi yang tinggi yaitu 36,273%. Sesuai pada keunggulan turbin ini yaitu menghasilkan efisiensi yang tinggi dari *head* yang rendah.



Gambar 8. Grafik hubungan antara Putaran dan efisiensi mekanis turbin pada beberapa variasi *head*

Selain itu, pada Gambar 8 ketiga variasi *head* turbin 300 mm, 500 mm, dan 700 mm menghasilkan putaran turbin yang berbeda dimana tiap pengujiannya semakin tinggi *head* maka posisi kemiringan turbin semakin curam sehingga menghasilkan putaran turbin yang semakin tinggi juga sebelum dilakukan pembebanan pada *head* 300 mm kecepatan putar tertinggi yaitu 322 rpm, pada *head* 500 mm kecepatan putar tertinggi yaitu 355 rpm, dan pada *head* 700 mm kecepatan putar tertinggi yaitu 364 rpm, *head* juga meningkatkan daya yang dihasilkan akan semakin meningkat tetapi tidak dengan efisiensinya [17] itu terjadi karena rendaman air pada bilah turbin yang dimanfaatkan menjadi nilai daya turbin, semakin tinggi rendaman air pada bilah turbin diakibatkan pembebanan dan pengaruh kemiringan lintasan membuat pengaruh nilai efisiensi pada *head* 300 mm akan naik bahkan melebihi nilai efisiensi pada *head* 500 mm, dan *head* 700 mm.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Dari ketiga variasi *head* pada pengujian Turbin Ulir Archimedes tiga sudu ini didapatkan bahwa daya yang dihasilkan sebanding dengan kenaikan *head*. Daya tertinggi didapatkan pada *head* 700 mm sebesar 6,690 Watt pada kecepatan putar sebesar 181 rpm. Efisiensi tertinggi dari pengujian ini adalah pada *head* 300 mm. Adapun efisiensi mekanis tertinggi dari

masing-masing variasi *head* 300 mm, 500 mm, dan 700 mm secara berurutan adalah 36,273 %, 26,012 %, dan 22,323 %. Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah meneliti pengaruh rasio antara diameter poros dan diameter sudu (luar) terhadap performa turbin Ulir Archimedes.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. J. K. Kementerian ESDM, *Statistik Ketenagalistrikan 2016*, No.30. 2017.
- [2] A. H. Elbatran, O. B. Yaakob, Y. M. Ahmed, dan H. M. Shabara, "Operation, performance and economic analysis of low head micro-hydropower turbines for rural and remote areas: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 43, hal. 40–50, Mar 2015, doi: 10.1016/j.rser.2014.11.045.
- [3] C. Rorres, "The Turn of the Screw: Optimal Design of an Archimedes Screw," *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 126, no. 1, hal. 72–80, 2000, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9429(2000)126:1(72).
- [4] A. Lashofer, W. Hawle, I. Kampel, F. Kaltenberger, dan B. Pelikan, *State of technology and design guidelines for the Archimedes screw turbine*. 2012.
- [5] A. Havendri dan I. Arnif, "Kaji Eksperimental Penentuan Sudut Ulir Optimum Pada Turbin Ulir Untuk Data Perancangan Turbin Ulir Pada Pusat

- Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Dengan Head Rendah,” dipresentasikan pada Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) IX, Palembang, 15 Oktober 2010.
- [6] H. B. Harja, H. Abdurrachim, S. Yoewono, dan H. Riyanto, “Studi Eksperimental Kinerja Turbin Ulir Archimedes,” dipresentasikan pada Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XI (SNTTM XI) & Thermofluid IV, Yogyakarta, 17 Oktober 2012.
- [7] M. A. T. Saputra, A. I. Weking, dan I. W. Artawijaya, “Eksperimental Pengaruh Variasi Sudut Ulir Pada Turbin Ulir (Archimedean Screw) Pusat Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Dengan Head Rendah,” *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. Vol. 18, No.1, 2019, doi: <https://doi.org/10.24843/MITE.2019.v18i01.P12.83>.
- [8] B. Yulistiyanto, Y. Hizhar, dan Lisdiyanti, “PENGARUH DEBIT ALIRAN DAN KEMIRINGAN POROS TURBIN ULIR PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO-HIDRO,” *Dinamika TEKNIK SIPIL*, vol. Vol. 12, No. 1, Jan 2012.
- [9] D. Nuernbergk dan C. Rorres, “Analytical Model for Water Inflow of an Archimedes Screw Used in Hydropower Generation,” *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 139, hal. 213–220, Feb 2013, doi: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000661.
- [10] Lubitz William David, Lyons Murray, dan Simmons Scott, “Performance Model of Archimedes Screw Hydro Turbines with Variable Fill Level,” *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 140, no. 10, hal. 04014050, Okt 2014, doi: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000922.
- [11] G. Dellinger, A. Terfous, P.-A. Garambois, dan A. Ghenaim, “Experimental investigation and performance analysis of Archimedes screw generator,” *null*, vol. 54, no. 2, hal. 197–209, Mar 2016, doi: 10.1080/00221686.2015.1136706.
- [12] G. Dellinger, P.-A. Garambois, M. Dufresne, A. Terfous, J. Vazquez, dan A. Ghenaim, “Numerical and experimental study of an Archimedean Screw Generator,” *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 49, hal. 102002, Nov 2016, doi: 10.1088/1755-1315/49/10/102002.
- [13] T. Saroinsong, R. Soenoko, S. Wahyudi, dan M. N. Sasongko, “Performance of three-bladed Archimedes screw turbine,” vol. 11, hal. 9491–9495, Jan 2016.
- [14] P. J. Pritchard, *Fox and McDonald’s Introduction to Fluid Mechanics, 8th Edition*. John Wiley & Sons, 2010. [Daring]. Tersedia pada:

- <https://books.google.co.id/books?id=RdIbAAAAQBAJ>
- [15] Yohanes Agus Jayatun, “Analisis Faktor Koreksi C Pada Pengukuran Debit Aliran Air Bersih Yang Menggunakan Weir V-Notch Dengan Sudut Puncak 90 Derajat,” *Prosiding Seminar Nasional ReTII*, vol. 0, no. 0, Jan 1970, Diakses: Nov 25, 2021. [Daring]. Tersedia pada: [//journal.itny.ac.id/index.php/ReTII/article/view/1031](http://journal.itny.ac.id/index.php/ReTII/article/view/1031)
- [16] I. G. W. Putra, A. I. Weking, dan L. Jasa, “Analisa Pengaruh Tekanan Air Terhadap Kinerja PLTMH dengan Menggunakan Turbin Archimedes Screw,” *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 17, no. 3, hal. 385, 2018, doi: 10.24843/mite.2018.v17i03.p13.
- [17] T. Saroinsong, R. Soenoko, S. Wahyudi, dan M. N. Sasongko, “The effect of head inflow and turbine axis angle towards the three row bladed screw turbine efficiency,” *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 10, no. 7, hal. 16977–16984, 2015.