

Gunawan Rudi Cahyono

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Lambung Mangkurat
Jurusan Teknik Mesin
gunawan.cahyono@ulm.ac.id

Apip Amrullah

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Lambung Mangkurat
Jurusan Teknik Mesin
apip.amrullah@ulm.ac.id

Pathur Razi Ansyah

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Lambung Mangkurat
Jurusan Teknik Mesin
pathur.razi@ulm.ac.id

Andy Nugraha

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Lambung Mangkurat
Jurusan Teknik Mesin
andy.nugraha@ulm.ac.id

Rusdi

Mahasiswa S1
Universitas Lambung Mangkurat
Jurusan Teknik Mesin
rusdimhmd76@gmail.com

PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN TERHADAP PUTARAN DAN DAYA HIDROLISIS PADA TURBIN ARCHIMEDES SCREW PORTABLE

Picohydro Power Plant is one of the renewable energy sources which utilizes water or irrigation channels with a small head and flow rate. Many factors can affect the hydrolysis power and also the power on the rotation of the screw turbine, one of which is the turbine design. The existing turbine design needs to be evaluated by several factors such as inner and outer screw diameters, slope, screw pitch, number of blades and condition of inlet and outlet as well as head and water flow. Moreover, if the turbine is designed for a portable one with a length of approximately only 1 meter. These factors indicate that the design of each screw turbine design needs to be optimized through data analysis to find the optimal hydraulic power and turbine rotation. This study aims to determine the effect of the tilt angle of the Archimedes screw turbine on the turbine rotation and also the hydraulic power of the picohydro power plant with variations of the turbine tilt angle (K) 20° , 30° and 40° . The method used in this research is to use a Performance Experiment Study by making an Archimedes screw turbine as a picohydro power plant. From the test results using a discharge of 2 ltr/sec, the largest turbine rotation is 144.3 at a 30° turbine tilt angle with 10.77 Watt of produced hydraulic power (P).

Keywords : Archimedes Screw, Picohydro, Hydrolysis Power.

1. PENDAHULUAN

Tenaga air merupakan sumber energi yang bersifat non-depletable (tidak dapat habis) namun begitu sumber air bisa saja mengalami kekurangan intensitas hal ini dipengaruhi oleh iklim yang menyangkut angka curah hujan serta kerusakan alam seperti penggundulan hutan dan pengrusakan struktur tanah[1]. Saat ini, sebagian besar penggunaan air sebagai sumber tenaga listrik hanya didasarkan pada potensi energi air dengan head tinggi dan atau debit besar, padahal banyak wilayah di Indonesia memiliki potensi energi aliran air sungai dengan head sangat rendah (< 3 meter). Oleh karena itu, diperlukan pengembangan jenis turbin yang dapat memanfaatkan potensi energi air dengan head sangat rendah [2]. *Archimedes Screw Turbine* ditemukan berkinerja menguntungkan dibandingkan turbin tradisional untuk lokasi dengan head kurang dari 5 m karena tipe turbin ini tetap sangat efisien bahkan saat head yang tersedia mendekati nol [3 - 4]. Efisiensi *Archimedes Screw Turbine* dipengaruhi oleh banyak faktor, salah satunya adalah desain turbin. Desain turbin yang ada perlu dilakukan evaluasi oleh beberapa faktor seperti diameter dalam dan luar screw, kemiringan, pitch screw, jumlah blade dan kondisi inlet dan outlet serta head dan debit air. Berbagai penelitian telah dilakukan mengenai metode untuk meningkatkan kinerja Turbin Pico. Siswantara dkk dalam penelitiannya yang menganalisis *angel of attack* (α) terhadap performa turbin *archimedes*[5]. Pembangkit listrik dengan daya dibawah 5 kilowatt pada daerah seperti pegunungan yang memiliki aliran sungai kecil sebagai sumber energy *Pico Hydro* (PLTPH), sudah mulai dikembangkan[6]. Pico hydro memberikan keuntungan yang signifikan, termasuk biaya, dibandingkan jenis pembangkit listrik lainnya, implementasinya dapat menjadi tantangan[7], termasuk ketergantungan yang besar pada kondisi spesifik lokasi untuk desainnya[8]. Hal ini yang menginspirasi penelitian turbin *portable*. Aliran air pada saluran irigasi dengan debit yang tidak begitu deras menjadi tantangan tersendiri untuk diteliti. Penelitian Erinofiardi dkk mempertimbangkan penggunaan turbin di saluran irigasi dengan laju aliran rendah 1,2 l/dtk.[9]. Karena kemungkinan kondisi air yang dapat meluap, dalam penelitian gunawan dkk mempertimbangkan laju aliran dalam kanal pada laju aliran antara 1 l/dtk sampai 3 l/dtk yang disimulasikan berbasis computational fluid

dynamics (CFD) [10]. Alat uji eksperimental berbasis pembangkit listrik mikro hydro dilakukan oleh Nugroho melakukan kajian teoretik pengaruh geometri dan sudut kemiringan terhadap kinerja turbin Archimedes screw pada dua turbin yang berbeda, dengan tujuan mengetahui output power maksimal putaran turbin Archimedes screw dan efisiensi turbin maksimal dari desain PLTMH yang dirancang. Pada turbin yang pertama daya turbin terbesar yakni 5.11-watt terjadi pada sudut kemiringan 45° dengan putaran 182 rpm dan efisiensi turbin tertinggi yakni 89% terjadi pada putaran turbin 50 rpm dengan sudut kemiringan 25° . Pada turbin yang kedua daya turbin terbesar yakni 1.4-watt terjadi pada sudut kemiringan 22° dengan putaran 106 rpm dan efisiensi maksimum turbin yakni 49% dengan sudut kemiringan 22° . [11] Alat uji eksperimental tersebut, dimungkinkan untuk kondisi fix lokasi, dimana posisi *outlet* turbin tidak terendam pada aliran air.

Untuk jenis turbin *portable* pengaturan kemiringan turbin, menyebabkan perubahan *head* turbin dan posisi *outlet* turbin yang terendam pada aliran air. Ditambah dengan kondisi debit air yang rendah, yang dapat mempengaruhi efisiensi turbin. Pada pelaksanaannya masih ditemukan beberapa masalah teknis terkait tinjauan khusus dalam perancangan alat ujinya, sebagai solusi dari masalah tersebut. diperlukan sebuah sistem pengujian secara eksperimental yang berfungsi untuk mencari variabel yang berhubungan dengan penyebab masalah pada teknis di lapangan [12]. Terlebih lagi jika turbin dirancang untuk disain yang *portable* dengan panjang kurang lebih hanya 1 meter. Faktor-faktor tersebut menunjukkan bahwa desain masing-masing rancangan turbin ulir perlu dioptimalkan melalui analisa data untuk menemukan daya hidrolis dan putaran turbin yang maksimal.

1.1 Pembangkit Listrik Tenaga Picohydro (PLTPH)

Piko hidro atau yang dimaksud dengan Pembangkit Listrik Tenaga *picohydro* (PLTPH), adalah suatu pembangkit listrik skala kecil dengan daya keluaran dibawah 5 kilowatt yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (*head*) dan jumlah debit air sebagai sumber tenaga untuk menggerakkan turbin dan memutar generator [4].

1.2 Turbin Archimedes Screw

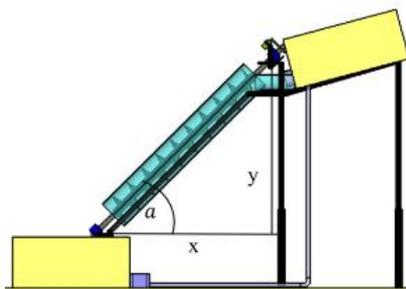
Secara umum, ada dua kategori keseluruhan turbin tenaga air modern yaitu impuls dan reaksi. Namun dikarenakan cara kerja dari turbin Archimedes screw memanfaatkan perbedaan tekanan di seluruh *blade* yang disebabkan oleh berat air, jadi turbin Archimedes screw tidak dikategorikan sebagai turbin dengan mekanisme impuls ataupun reaksi. Turbin *Archimedes screw* merupakan kategori ketiga dari konverter tenaga air yang digerakkan oleh berat air, yang merupakan bagian dari jenis kincir air [13].

Pada jaman dahulu turbin Archimedes digunakan untuk mengeluarkan air yang berada di sungai dengan menaikkan air tersebut. Seiring dengan waktu berlalu di dunia timbul krisis energi dan terbatasnya potensi turbin air karena hanya dapat mengandalkan aliran debit air yang tinggi. Pompa diputar terbalik dan membiarkan air mengendalkan pompa, kemudian diatas pompa dipasang generator [14].

1.3 Parameter yang Mempengaruhi Performa Turbin Archimedes Screw

1. Kemiringan turbin

Posisi kemiringan yang tajam dengan maksud agar diperoleh kecepatan dan tekanan air yang tinggi untuk memutar turbin, semakin besar tekanan atau kecepatan air maka daya putar turbin akan semakin cepat yang sangat berpengaruh terhadap daya output yang akan dihasilkan oleh generator [15].



Gambar 1: Kemiringan Turbin Ulir

$$\tan a = \frac{y}{x} \quad a = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right) \quad (1)$$

Dimana: $\tan \alpha$ = derajat kemiringan y = jarak vertikal x = jarak horizontal

2. Debit

Debit air yang digunakan akan sangat berpengaruh pada daya hidrolis yang nantinya dihasilkan. Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung debit air :

$$Debit = \frac{volume}{waktu} \quad (2)$$

3. Daya Hidrolis

Pembangkit listrik tenaga air merupakan suatu pertukaran dari energi kinetik air dan ketinggian jatuh air yang dikonversi menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin air dan generator. Daya yang dihasilkan dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut [16] :

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (3)$$

Dimana Q adalah Debit aliran (m^3/s), ρ adalah massa jenis air (kg/m^3), H adalah Head (m), g adalah Percepatan gravitasi (m/s^2), P adalah Daya (W)

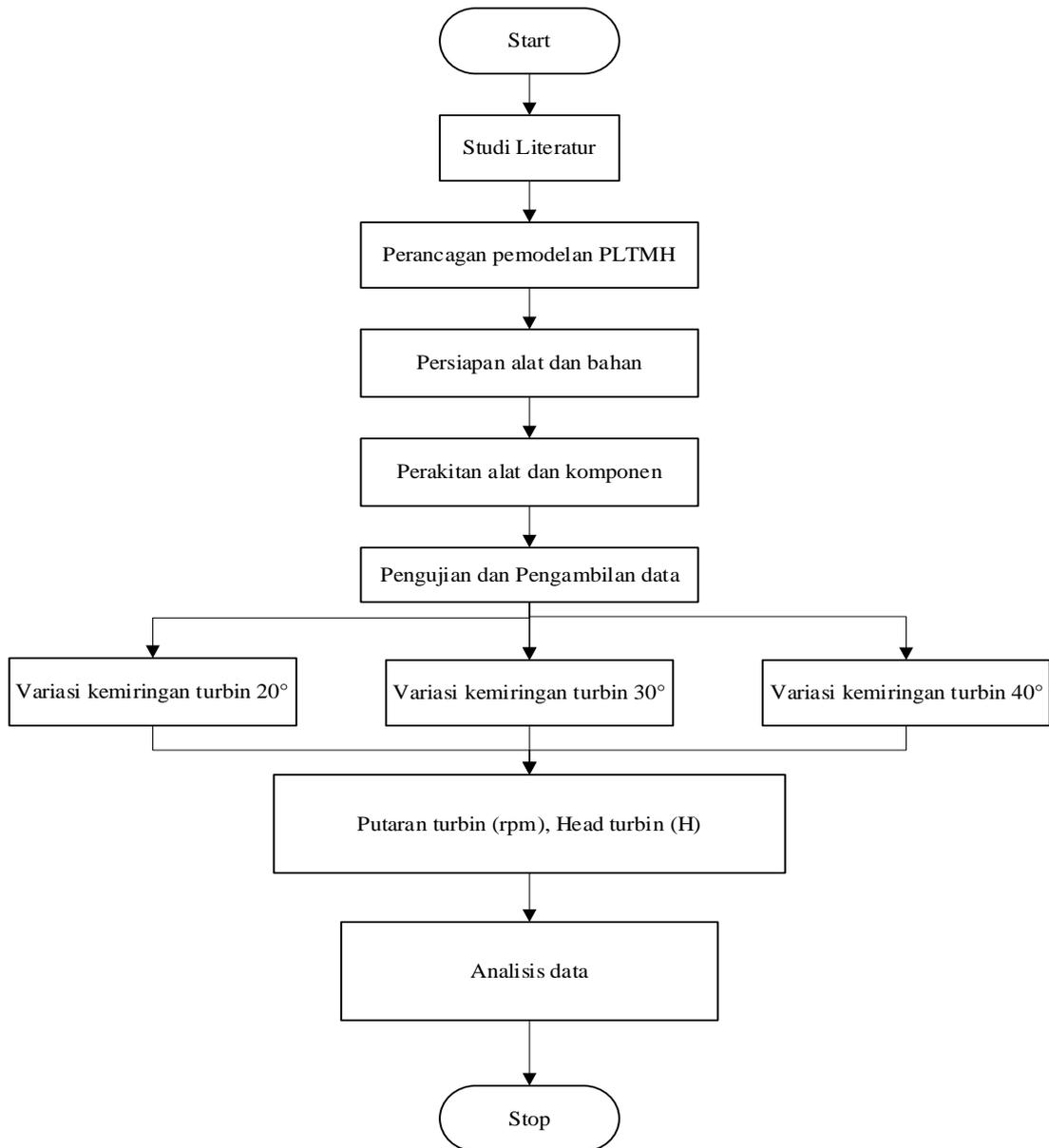
2. METODE DAN BAHAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan Studi Eksperimen Kinerja dengan membuat *turbin Archimedes screw* sebagai pembangkit listrik tenaga *picohydro*.

Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi sudut kemiringan turbin. Kemudian data tersebut akan dianalisa untuk mengetahui hubungan antara sudut kemiringan turbin dengan daya hidrolis dan juga putaran turbin yang mampu dihasilkan, yang beroperasi pada debit aliran rendah.

2.1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan Penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2 dibawah ini:



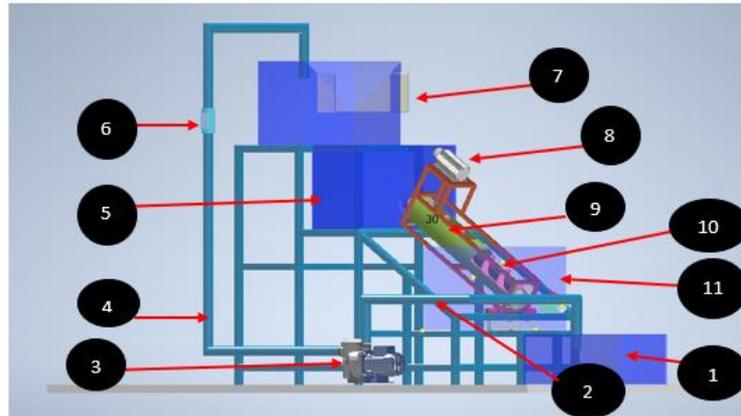
Gambar 2: Diagram Alir.

2.2 Prosedur Kerja

Adapun prosedur kerja sebagai berikut:

1. Pembuatan *prototype* PLTPH

Pembuatan dilakukan di laboratorium manufaktur Teknik Mesin Universitas Lambung Mangkurat. Proses pembuatan ini meliputi pengelasan, kerja bangku dan perakitan turbin.



Gambar 3: Rancangan PLTPH dengan turbin *Archimedes screw*

Keterangan:

1. Bak penampungan air 4
2. Pipa hisap
3. Pompa
4. Pipa penyalur air
5. Bak penampungan air 2
6. *Ball valve*
7. Bak penampungan air 1
8. Generator DC
9. *Housing* turbin *Archimedes screw*
10. Turbin *Archimedes screw*
11. Bak penampungan air 3

Berikut spesifikasi dari PLTPH Turbin *Archimedes Screw* yang digunakan dalam uji eksperimental yaitu.

Tabel 1: Spesifikasi PLTPH

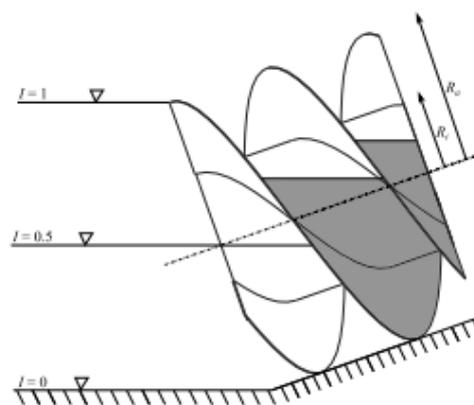
SPESIFIKASI	PARAMETER
Bahan poros utama	Pipa Besi 1"
Bahan poros ulir	Pipa besi 2"
Bahan sudu & <i>housing</i> turbin	Plat galvanis 1 mm 2 mm
Sudut sudu	22°
Berat turbin	6 kg
Panjang turbin	1 m
Jumlah lilitan <i>screw</i>	6 buah
Diameter turbin	16 cm
<i>Pitch ratio</i>	150 mm
Rangka <i>housing</i>	<i>hollow</i> 4x4 cm
Generator	300 watt
<i>Pulley</i> Generator	65 mm
<i>Pulley</i> Turbin	127 mm

2.3 Pengujian Eksperimental

Pengujian eksperimental dilakukan variasi sudut kemiringan turbin $20^\circ, 30^\circ$ dan 40° , dengan debit air (Q) 2 L/s. Untuk mengatur kemiringan turbin dilakukan dengan cara menaikkan atau menurunkan pengatur ketinggian yang berada dekat outlet turbin sesuai dengan ketinggian yang diharapkan, sehingga dengan menaikkan ketinggian pada outlet turbin kemiringan sudut turbin juga ikut berubah. Pengambilan data pengujian berupa kecepatan putaran turbin (N), dan head (H) atau tinggi jatuhnya air. Pengambilan data kecepatan putaran turbin diukur dengan menggunakan tachometer. Pengukuran dengan tachometer ini dilakukan pada turbin dengan menempelkan ujung tachometer pada poros turbin kemudian hasil pengukuran bisa dilihat pada layar tacho tachometer. Masing- masing Pengukuran dilakukan sebanyak 3 kali pada masing-masing variasi kemiringan turbin yang diujikan agar mendapatkan hasil yang lebih akurat dan mengurangi *error*. Selain itu pada saat pengambilan data ada variabel lain yang harus diperhatikan seperti level rendaman air (I), Level rendaman turbin akan mengikuti sudut kemiringan turbin yang mana semakin besar sudut kemiringan turbin maka level rendaman juga semakin besar.



Gambar 4: Posisi pengukuran head (H), debit (Q), sudut kemiringan turbin (α), rpm generator (N) dan level rendaman (I)



Gambar 5: Level Rendaman (I) Untuk $I = 0$, $I = 0.5$ dan $I = 1$ [16].

3. HASIL DAN DISKUSI

Data yang di peroleh dari penelitian turbin Archimedes screw dengan variasi sudut kemiringan turbin $20^\circ, 30^\circ$ dan 40° didapatkan data sebagai berikut.

Tabel 2: Data penelitian unjuk kerja turbin *Archimedes screw*

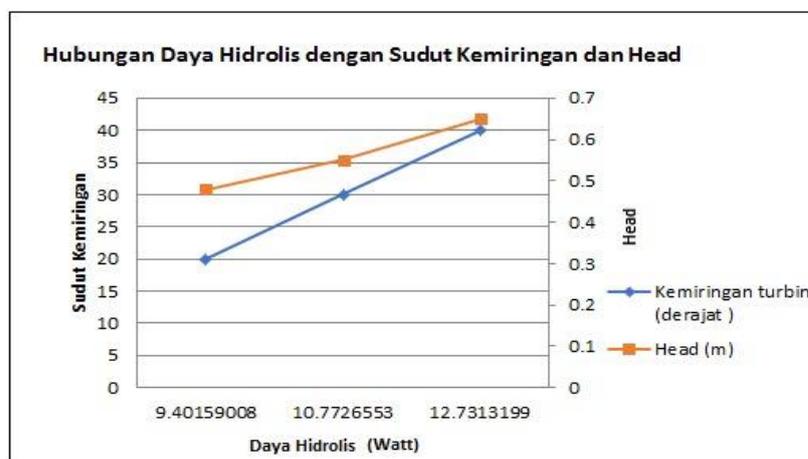
NO	VARIABEL BEBAS		HASIL PENGUKURAN	
	KEMIRINGAN TURBIN (DERAJAT)	DEBIT ALIRAN AIR (LTR/DT)	KECEPATAN PUTARAN TURBIN (RPM)	HEAD (CM)
1	20°	2	126,7	48
2			107,5	
3			139,0	
1	30°		144,3	55
2			147,5	
3			141,2	
1	40°		129,3	65
2			130,1	
3			127,2	

Tabel 3: Data hasil perhitungan daya hidrolis

KEMIRINGAN TURBIN (DERAJAT)	BERAT JENIS AIR (KG/ M3)	DEBIT AIR (M3/S)	PERCEPATAN GRAVITASI BUMI (MS ²)	PERBEDAAN KETINGGIAN BERSIH (M)	DAYA YANG DIHASILKAN (WATT)
20°	998,3	0,002	9,81	0,48	9,40
30°				0,55	10,77
40°				0,65	12,73

3.1 Grafik Hubungan Daya Hidrolis Dengan Sudut Kemiringan Dan Head

Grafik hubungan daya hidrolis dengan Sudut kemiringan dan head dapat dilihat seperti pada gambar 6 berikut ini.

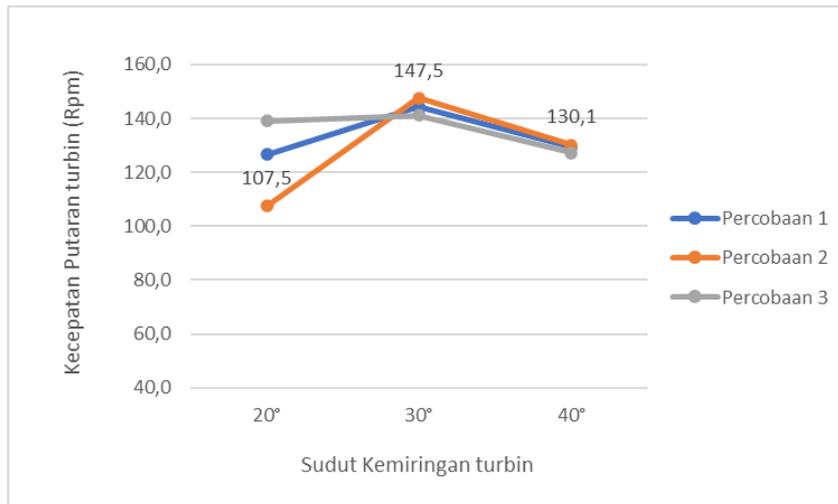


Gambar 6: Grafik Hubungan Daya Hidrolis Dengan Sudut Kemiringan Dan Head

Grafik hubungan daya hidrolis dengan sudut kemiringan dan head pada gambar 6 di atas menunjukkan bahwa semakin besar sudut kemiringan turbin maka semakin besar pula daya hidrolisis yang dihasilkan, hal ini dikarenakan perbedaan ketinggian bersih (head) yang ikut berubah menjadi semakin tinggi mengikuti kemiringan turbin. Menurut penelitian [18], daya hidrolis dipengaruhi oleh head atau tinggi air yang jatuh, head yang besar menghasilkan tekanan gaya dorong yang tinggi untuk mendapatkan daya hidrolis yang besar. Pada gambar 6 daya hidrolisis terbesar yang mampu dihasilkan adalah 12,63 watt pada sudut kemiringan turbin 40° dengan head 0,65 m, sedangkan daya hidrolisis terkecil yang mampu dihasilkan adalah 9,40 watt pada sudut kemiringan turbin 20° dengan head 0,48 m.

3.2 Grafik Hubungan Antara Sudut Kemiringan Turbin Dengan Kecepatan Putaran Turbin

Grafik hubungan antara sudut kemiringan turbin dengan kecepatan putaran turbin dapat dilihat seperti pada gambar 7 berikut ini.



Gambar 7: Grafik Hubungan Antara Sudut Kemiringan Turbin Dengan Kecepatan Putaran Turbin pada

Dari ketiga percobaan dapat dilihat bahwa semakin besar sudut kemiringan turbin bukan berarti semakin besar pula kecepatan putaran turbin yang dihasilkan. Saat kemiringan turbin 20° sampai dengan 30° kecepatan putaran turbin meningkat, namun pada saat kemiringan 40° mengalami penurunan, hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh [15] yang mana penelitiannya juga mengalami peningkatan Putaran turbin pada sudut kemiringan turbin 10° sampai dengan 40° kemudian menurun pada sudut kemiringan turbin 45° sampai dengan 90° . Hal tersebut terjadi 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 [15]. Selain itu karena implementasi dari pembuatan PLTPH ini nantinya ialah model portable, sehingga pasti akan terjadi rendaman pada sisi outlet nya, yang mana akan membuat kecepatan putaran turbin berkurang. Level rendaman air berbanding lurus dengan sudut kemiringan turbin sehingga semakin besar sudut kemiringan turbin maka semakin besar pula level rendaman turbin. Menurut penelitian yang dilakukan oleh [17], ketika turbin terendam maka air dapat mengalir kembali ke sekrup sehingga memberikan hambatan kepada turbin ulir untuk berputar dan kemudian mengurangi kinerjanya.

Putaran turbin tercepat pada penelitian ini ada pada sudut kemiringan turbin 30° dengan putaran turbin sebesar 147,5 rpm di percobaan pengambilan data yang ke 2 dan putaran turbin paling lambat ada pada sudut kemiringan turbin 20° dengan nilai 107,5 rpm di percobaan pengambilan data yang ke 2. Perbedaan hasil pengukuran rpm pada masing-masing pengujian dikarenakan debit air yang tidak bisa konstan berada di 2 L/s.

4. KESIMPULAN

1. Daya hidrolis yang dihasilkan pada penelitian ini berbanding lurus dengan sudut kemiringan turbin, semakin besar sudut kemiringan turbin, semakin besar pula daya hidrolis yang dihasilkan.
2. Kecepatan putaran turbin yang dihasilkan pada penelitian ini terjadi peningkatan pada saat kemiringan turbin 20° sampai dengan 30° , namun pada saat kemiringan turbin 40° mengalami penurunan akibat terjadi rendaman pada outlet turbin.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] JAMALUDIN., "Debit Air Optimum Model Screw Turbine Pada Pitch $\Lambda=1,2$ Ro Dan $\Lambda=2$ Ro Sebagai Penggerak Generator Listrik," *Jurnal Dinamika UMT.*, vol. 3 no.1, p. 10–21, 2018. <https://doi.org/10.31000/dinamika.v3i1.1086>.
- [2] M.T. HIDAYAT, R. WULANDARI, "Unjuk kerja turbin air kaki angsa next-g dengan variasi lebar sudu dan jumlah kaki sudu menggunakan pendekatan komputasional," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 9, no. 2, p. 99-102, 2018, <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2018.009.02.5>.
- [3] B. CERAN, J. JURASZ, R. WRÓBLEWSKI, A. GUDERSKI, D. ZŁOTECKA, AND Ł. KAŻMIERCZAK, "Impact of the minimum head on low-head hydropower plants energy production and profitability," *Energies*, vol. 13, no. 24, p. 6728, 2020, doi: 10.3390/en13246728.
- [4] M. W. N. KARIM, M. WIDYANRTONO, A. C. HERMAWAN, AND S. I. HARYUDO, "Kajian kemiringan blade dan head turbin archimedes screw terhadap daya keluaran generator AC 1 phase 3 kW," *Tek. Elektro*, vol. 10, pp. 219–228, 2021.
- [5] A.I. SISWANTARA, WARJITO, BUDIARSO, RUDIAS HARMADI, M.H. GUMELAR S., DENDY ADANTA, "Investigation of the α angle's effect on the performance of an Archimedes turbine," *Energy Procedia*, vol. 156, p. 458-462, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.084>.
- [6] M. A. WAHID AND Z. ERWANTO, "Perencanaan dan penerapan prototipe pembangkit listrik tenaga piko hidro (PLTPH) dengan turbin tipe undershoot," vol. 6, no. 1, pp. 81–87, 2020.
- [7] GOGOI, P., HANDIQUE, M., PURKAYASTHA, S., NEWAR, K., "Potential of archimedes screw turbine in rural india electrification: a review," *ADB Journal of Electrical and Electronics Engineering (AJEEE)*, vol. 2, no. 1, pp. 30-35, 2018.
- [8] M. ALONSO-MARTINEZ, J. L. SUÁREZ SIERRA, J. J. DEL COZ DÍAZ, AND J. E. MARTINEZ-MARTINEZ, "A new methodology to design sustainable archimedean screw turbines as green energy generators," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 17, no. 24, p. 9236, Dec. 2020, doi: 10.3390/ijerph17249236.
- [9] ERINOFIARDI, A. NURAMAL, P. BISMANTOLO, A. DATE, A. AKBARZADEH, A. K. MAINIL, A. F.SURYONO, "Experimental study of screw turbine performance based on different angle of inclination," *Energy Procedia*, vol. 110, p. 8-13, 2017.
- [10] G.R CAHYONO, A. AMRULLAH, P.R. ANSYAH, N.A. MIKAEL, P.S.M. REYNALDI, RUSDI, "Effect of Discharge Variation on the Performance of Single Blade Archimedes Screw Turbine: Prediction with Computational Fluid Dynamic", *International Journal of Innovation in Mechanical Engineering and Advanced Materials (IJIMEAM)*, 2021, 10.22441/ijimeam.v3i2.12459.
- [11] NUGROHO, A. D. "Kajian teoritik pengaruh geometri dan sudut kemiringan terhadap kinerja turbin archimedes screw". *Conference SENATIK STT Adisutjipto Yogyakarta*, 3, 2017 <https://doi.org/10.28989/senatik.v3i0.130>
- [12] N. K. THAKUR, R. THAKUR, K. KASHYAP, B. GOEL, "Efficiency enhancement in Archimedes screw turbine by varying different input parameters – An experimental study," *Materials Today: Proceedings*, vol. 52, no. 3, p. 1161-1167, 2022, doi: 10.3390/ijerph17249236.
- [13] A. YOOSEFDOOST AND W. D. LUBITZ, "Archimedes Screw Turbines: A Sustainable Development Solution for Green and Renewable Energy Generation—A Review of Potential and Design Procedures," *Sustainability*, vol. 12, no. 18, p. 7352, 2020, doi: 10.3390/su12187352.
- [14] F. A. S. PUTRA, "Pengaruh Variasi Kemiringan Propeller," *Universitas negeri semarang*, 2019.
- [15] I. P. JULIANA, A. I. WEKING, AND L. JASA, "Pengaruh Pengaruh Sudut Kemiringan Head Turbin Ulir Terhadap Daya Putar Turbin Ulir Dan Daya Output Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 17, no. 3, p. 393, 2018, doi: 10.24843/mite.2018.v17i03.p14.
- [16] A. T. SAPUTRA, A. I. WEKING, AND I. W. ARTAWIJAYA, "Eksperimental Pengaruh Variasi Sudut Ulir Pada Turbin Ulir (Archimedean Screw) Pusat Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Dengan Head Rendah," vol. 18, no. 1, pp. 83–90, 2019.
- [17] G. DELLINGER, A. TERFOUS, P. A. GARAMBOIS, AND A. GHENAIM, "Experimental investigation and performance analysis of Archimedes screw generator," *J. Hydraul. Res.*, vol. 54, no. 2, pp. 197–209, 2016, doi: 10.1080/00221686.2015.1136706.

- [18] I.K.A. ARDIKA, A.I WEKING, L. JASA, “Analisa Pengaruh Jarak Sudu Terhadap Putaran Turbin Ulir Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro,” *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol 18, no. 2, p. 217–226, 2019. <https://doi.org/10.24843/MITE.2019.v18i02.P10>