



Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Sudut Kemiringan Poros Terhadap Kinerja Turbin Ulir Archimedes

Kukuh Pribadi, Dedet Hermawan Setiabudi, Bahrul Jalaali*

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Kedirgantaraan, Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto

* Corresponding E-mail: bahrul@itda.ac.id

Received 5 June 2022
Accepted 2 September 2022
Published 30 December 2022

Open Access

DOI: 10.35472/jsat.v6i2.938

Abstract: This study aims to design and conduct an experimental study of axle tilt angles variation on the performance of the Archimedes screw turbine (AST). The AST was constructed based on Rorres (2000) [3] formulation to achieve the optimum design of AST. This design was obtained with the followings parameters: 1.7m turbine axle length, 0.069m and 0.128m of internal and external turbine radius, 0.260m pitch length, 6.5 pitches number, 59° and 72° of external and internal blade angel, and 2 number of blades. The screw turbine performance was experimentally carried out by varying the angle of the turbine axle in the range of 25°, 30°, 35°, 40°, and 45°. The test was utilized the natural river flow with an average discharge of 0.011 m³/s. The result was yielded that the optimum angle of the turbine was at a turbine tilt axle of 35° while the rotational speed was 265.5 rpm, whereby the turbine generated 48.81W power and 4.09Nm of torque. This study is hopefully beneficial for the turbine design reference as well as its experimental evaluation.

Keywords: design, screw turbine, archimedes, tilt angle, rotating speed

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk melakukan rancang bangun dan studi eksperimental perbedaan sudut kemiringan poros terhadap kinerja turbin ulir Archimedes. Perancangan turbin mengacu pada formulasi Rorres (2000) untuk mendapatkan hasil optimal geometri turbin ulir Archimedes. Dari hasil perhitungan, diperoleh rancangan turbin dengan dimensi panjang poros turbin 1.7 m, radius dalam turbin 0.069 m, radius luar turbin 0.128 m, panjang kisar ulir 0.260 m, jumlah kisar ulir 6.5, sudut sudu ulir dalam 59°, sudut sudu ulir luar 72° dan dengan jumlah sudu yaitu 2 sudu. Pengujian kinerja turbin ulir dilakukan secara eksperimental dengan memvariasikan sudut kemiringan poros pada rentang sudut 25°, 30°, 35°, 40° dan 45°. Pengujian memanfaatkan aliran dari sungai dengan debit rata-rata 0.011 m³/s. Hasil pengujian didapatkan sudut optimum turbin pada kemiringan poros turbin 35° dengan kecepatan putar poros turbin 265.5 rpm dimana turbin dapat menghasilkan daya dan torsi sebesar 48.81 Watt dan 4.09 Nm. Diharapkan penelitian ini bermanfaat sebagai acuan perancangan turbin ulir Archimedes berikut evaluasi eksperimentalnya.

Kata Kunci : studi eksperimen, turbin ulir archimedes, sudut kemiringan poros, kecepatan putar

Pendahuluan

Air merupakan salah satu sumber energi alternatif dimana potensi energi air yang ada di Indonesia rata-rata memiliki debit air yang besar dan *head* yang rendah [1]. Pada kenyataannya potensi air dengan kriteria seperti ini belum banyak dimanfaatkan untuk keperluan produksi listrik, karena masih terkendala oleh teknologi untuk mengolah dan memanfaatkan energi tersebut. Berdasarkan data dari *Outlook Energi Indonesia* tahun 2018 [1], menunjukkan bahwa potensi energi air di Indonesia mencapai 94.3 Giga Watt, namun yang terealisasi untuk keperluan pembangkit listrik sebesar

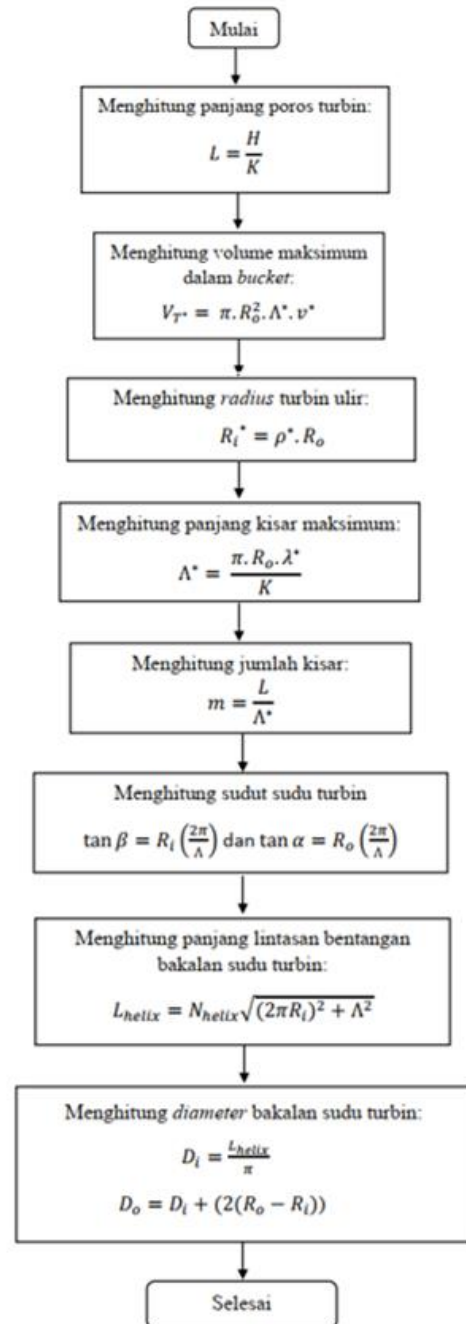
5.3 Giga Watt atau sebesar 5.6% dari total kapasitas potensi energi air. Sumber energi tersebut dapat dimanfaatkan untuk penggerak turbin air yang kemudian dapat menghasilkan listrik untuk keperluan masyarakat Indonesia. Turbin ulir adalah jenis turbin yang dapat bekerja pada *head* yang rendah dengan baik [2]. Penelitian mengenai jenis turbin ulir Archimedes sampai saat ini masih tergolong baru dan masih sedikit dilakukan dibandingkan dengan jenis turbin air lainnya.

Rorres melakukan penelitian mengenai optimasi perancangan turbin ulir dengan memperoleh volume maksimum pada *bucket*. Dari hasil penelitian tersebut ditunjukkan bahwa geometri sekrap turbin ulir ditentukan oleh beberapa parameter eksternal tertentu yakni radius luar, panjang poros, kemiringan sudu turbin dan parameter internal berupa radius dalam, jumlah sudu turbin, dan jarak kisar [3]. Penelitian lain oleh Muller mengkaji mengenai dasar teori pada perancangan turbin ulir [4]. Pada sebuah studi kasus yang dilakukan oleh Yoosef Dost dan Lubizt menunjukkan bahwa turbin ulir Archimedes merupakan turbin yang dapat beroperasi dengan baik untuk energi air yang memiliki *head* dan debit rendah [5]. Dalam hal pembangunan berkelanjutan turbin ulir Archimedes dapat menawarkan banyak keuntungan ekonomi, sosial dan lingkungan. Selain itu turbin ulir Archimedes cocok diaplikasikan di daerah yang belum berkembang, terkendala akses transportasi dan untuk komunitas kecil. Turbin ulir Archimedes diprediksi lebih hemat biaya dalam pemasangan dan biaya operasi sistemnya [5]. Selaras dengan hal tersebut, Havendri dan Lius dalam penelitiannya menyatakan bahwa efisiensi turbin bekerja pada beban maksimal sebesar 90% dan cocok di pergunakan untuk daerah sungai di Indonesia yang memiliki *head* rendah [6]. Erinofiardi, dkk. memperkuat argument bahwasannya dalam kajiannya didapati bahwa turbin ulir dapat menghasilkan listrik untuk *head* sangat rendah yaitu 25 cm dengan debit 0.0012 m³/s [7].

Selanjutnya, kajian yang dilakukan oleh Herman Budi Harja membahas mengenai penentuan dimensi sudut turbin dan sudut kemiringan poros agar dihasilkan kinerja turbin secara optimum. Didapatkan bahwa hasil sudut optimum kemiringan poros berdasarkan gaya berat dan gaya hidrostatis sebesar 32° [8]. Adapun Hizhar, dkk. memvariasikan *pitch* turbin dan didapatkan bahwa putaran sebanding dengan *pitch*, sementara itu efisiensi turbin juga dipengaruhi oleh sudut kemiringan turbin. Didapatkan bahwa daya sebesar 18.51 Watt didapatkan pada kemiringan 35° dengan *pitch* sebesar dua kali radius luar [9]. Kajian ini selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Abdillah, dkk. pada turbin ulir dengan sudu 2 buah [10].

Berdasarkan kajian literatur, belum ditemukan analisis kemiringan poros optimal untuk 2 sudu dan perhitungan untuk mencari nilai dari sudut sudu. Sehingga, penulis akan melakukan perhitungan untuk mencari nilai sudut sudu turbin agar hasil rancangan turbin lebih nyata dan lengkap dari penelitian sebelumnya. Penelitian ini

bertujuan untuk membahas mengenai perancangan turbin ulir Archimedes dan studi eksperimental dengan memvariasikan sudut kemiringan poros. Diharapkan penelitian ini akan memberikan kontribusi dalam perkembangan pemanfaatan energi alternatif di Indonesia.



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

Metode

Secara umum, metode penelitian ditunjukkan pada diagram alir Gambar 1. Tahapan awal penelitian adalah melakukan studi literatur dan survei lokasi. Adapun lokasi yang didapatkan memiliki *head* 95 cm dan debit air 0.011 m³/s. Data tersebut digunakan sebagai acuan pada saat proses perancangan untuk menentukan dimensi dari turbin ulir ini.

Analisis perhitungan dimensi turbin mengacu Rorres [3]. Adapun diagram alir untuk menghitung dimensi turbin alir ditunjukkan Gambar 2. Beberapa parameter turbin ulir Archimedes yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter perancangan turbin.

Notasi	Keterangan	Satuan
<i>L</i>	Panjang poros turbin	m
<i>H</i>	Ketinggian jatuh air	m
<i>K</i>	Tan ϑ	
ϑ	Sudut kemiringan poros	°
<i>V_T*</i>	Volume maksimum dalam bucket	m ³
<i>R_o</i>	Radius luar sudu turbin	m
Λ^*	Kisar maksimum turbin	m
<i>v*</i>	Optimal volume ratio	-
ρ^*	Optimal radius ratio	-
<i>R_i</i>	Radius dalam sudu turbin	m
λ^*	Optimal pitch ratio	-
<i>L_{helix}</i>	Panjang lintasan bentangan sudu	m
<i>N_{helix}</i>	Jumlah helix	-

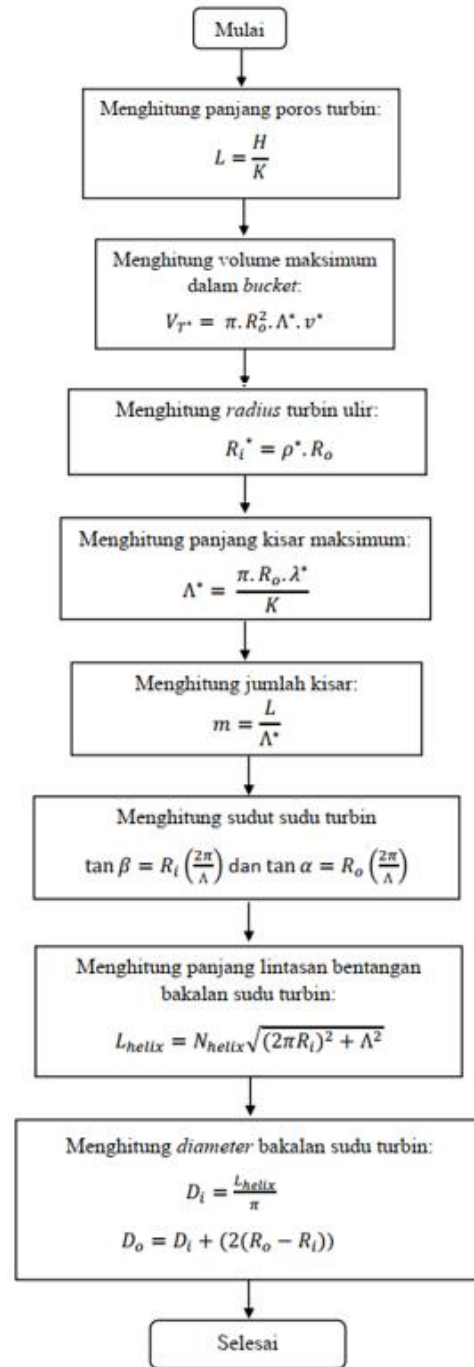
Pada penelitian ini batasan masalah perancangan sebagai berikut:

1. Sudut kemiringan turbin ulir (θ) sebesar 30°
2. *Head* 95 cm berdasarkan kondisi lapangan
3. Diameter dalam turbin (*R_i*) pada perancangan dipilih sebesar 138 mm.
4. Jumlah sudu turbin (*N*) yang dipakai yaitu 2 buah.

Mengacu pada parameter rasio optimal ulir Archimedes Rorres (2000) [3] untuk jumlah sudu yang dipakai 2 sudu, maka: $\rho^* = 0.5369$; $\lambda^* = 0.1863$; $v^* = 0.2747$.

Pada tahap desain CAD, hasil analisis perhitungan dimensi turbin kemudian diimplementasikan kedalam bentuk gambar teknik. Tujuan dari tahapan ini adalah untuk mempermudah saat proses pengerjaan manufaktur. Pada tahap manufaktur, pertama adalah

mengumpulkan alat dan bahan yang dibutuhkan, langkah selanjutnya yaitu proses manufaktur turbin ulir Archimedes dengan menggunakan acuan dari desain yang telah dirancang. Proses pengerjaan manufaktur dilakukan di laboratorium Nurtanio Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto Yogyakarta.



Gambar 2. Diagram alir perancangan turbin.

Proses pembuatan sudu turbin ulir menggunakan mesin CNC *Plasma Cutting* (Gambar 3). Pembentukan satu kisar sudu turbin ulir dilakukan dengan cara ditarik manual menggunakan bantuan alat berupa katrol rantai sehingga membentuk satu kisar dengan panjang sebesar 0.260 m. Pembentukan sudu turbin ulir dilakukan sampai dengan jumlah sudu sebesar 6.5 putaran. Pengelasan dilakukan untuk mengunci sudut-sudut yang sudah dibentuk dengan poros turbin ulir (Gambar 4).



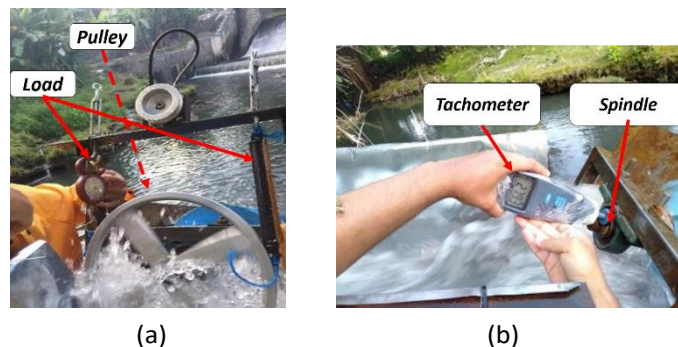
Gambar 3. Pemotongan sudu dengan *plasma cutting*.



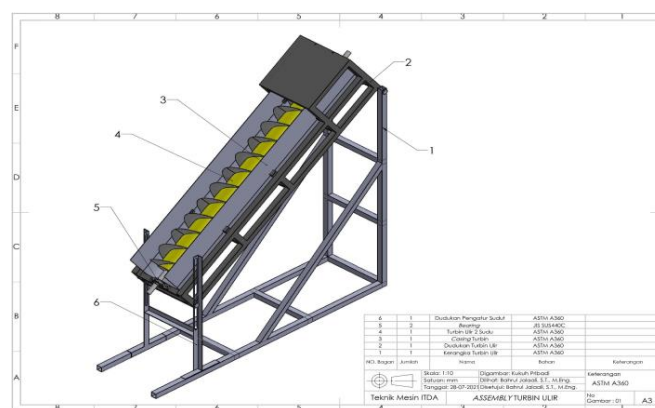
Gambar 4. Proses pengelasan.

Pengambilan data dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh data yang diinginkan, yaitu berupa nilai torsi, kecepatan putar poros dan daya mekanik yang dihasilkan dari kinerja turbin ulir. Pada proses pengujian dibantu dengan alat *Tachometer* dan neraca untuk mencari nilai-nilai tersebut. Pengukuran torsi dilakukan dengan metode *Prony Brake* yaitu dengan cara mengalikan selisih massa pembebanan antara 2 neraca ukur dengan massa gravitasi kemudian dikalikan dengan radius *pulley* yang terpasang pada poros turbin [9]. Radius *pulley* yang dipakai pada penelitian penulis adalah 0.15 m. Pengukuran daya mekanik turbin dilakukan dengan cara mengalikan nilai torsi dengan nilai kecepatan sudut rotasi poros turbin setelah diberi beban pada setiap sudut kemiringan poros turbin tertentu (Gambar 5).

Debit air yang digunakan pada pengujian adalah debit air rata-rata yaitu sebesar 11 l/s atau 0.011 m³/s. Sedangkan untuk variasi sudut kemiringan poros dilakukan dengan merubah posisi kemiringan poros turbin. Perubahan sudut kemiringan dengan cara merubah posisi baut yang ada ujung casing turbin ke posisi sudut yang diinginkan, pada kerangka penyangga *casing* turbin sudah terdapat lubang baut untuk masing-masing sudut kemiringan poros turbin. Pengaturan dan pemberian lubang baut diatur menggunakan bantuan *software* perancangan 3D sehingga dapat lebih mudah untuk diubah-ubah pada posisi sudut 25° sampai dengan sudut 45° (Gambar 6). Ditunjukkan pada Gambar 6, no 1 adalah kerangka turbin ulir, no 2 dan 3 adalah dudukan dan cangkang turbin. Adapun turbin ditunjukkan pada no 4 dimana *bearing* dan pengaturan sudut turbin dinotasikan pada no 5 dan 6.



Gambar 5. Pengambilan data (a) torsi dan (b) kecepatan.



Gambar 6. Skema elemen dan sudut kemiringan poros turbin.

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan keluaran perancangan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2. Sedangkan untuk gambar perancangan ditunjukkan pada Gambar 7a untuk gambar 2D dan Gambar 7b untuk hasil *assembly*. Adapun implementasi turbin di lapangan ditunjukkan pada Gambar 8.

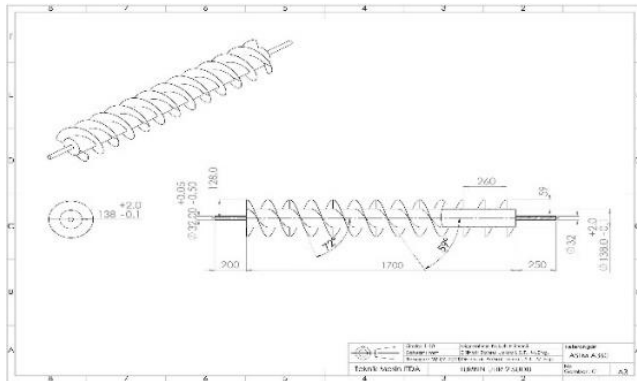
Tabel 2. Hasil perancangan geometri turbin.

Parameter	Nilai	Satuan
Panjang poros	1.7	m
Radius dalam turbin	0.069	m
Radius luar turbin	0.128	m
Panjang kisar ulir	0.260	m
Jumlah kisar ulir	6.5	-
Sudut sudu dalam	59	°
Sudut sudu luar	72	°
Jumlah sudu	2	

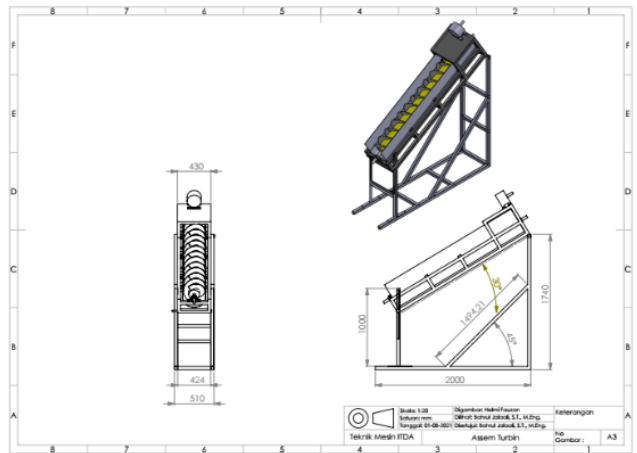


Gambar 8. Implementasi turbin di lokasi pengujian dengan sudut 35°

Pada pengujian tanpa beban bertujuan untuk mengetahui nilai kecepatan putar poros turbin maksimum pada saat sebelum diberi beban. Variasi kemiringan poros turbin yang dipilih penulis adalah 25°, 30°, 35°, 40° dan 45°. Debit aliran yang digunakan adalah konstan sebesar 11 l/s atau sebesar 0.011 m³/s. Hubungan antara kemiringan poros dan kecepatan turbin tanpa diberi beban dapat dilihat pada Gambar 9.

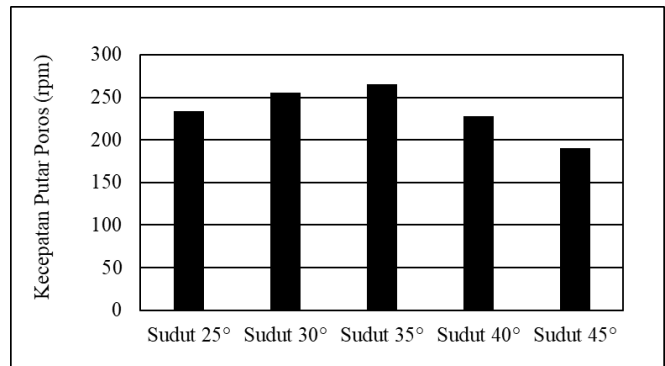


(a)



(b)

Gambar 7. (a) Hasil perancangan 2D dan (b) hasil *assembly*



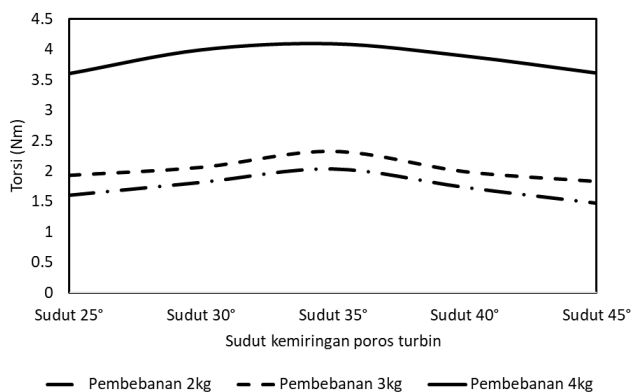
Gambar 9. Grafik hubungan antara kecepatan putar poros turbin dengan sudut kemiringan poros pada kondisi tanpa pembebanan

Pada Gambar 9 menunjukkan bahwa kecepatan putar poros turbin cenderung mengalami kenaikan dari variasi sudut kemiringan poros 25° sampai 35°. Pada sudut kemiringan poros 40° sampai 45° mengalami penurunan kecepatan putar poros. Perubahan kecepatan putar poros turbin terjadi karena pengaruh daya aliran yang masuk dan menumbuk pada sudut-sudut turbin ulir. Pada sudut 25° sampai sudut 35° aliran air yang masuk masih lebih stabil dan tidak ada loncatan air yang terbuang ketika air masuk dan menumbuk sudu-sudu turbin ulir, sehingga daya air tidak banyak yang terbuang. Penurunan kecepatan terjadi pada sudut 40° sampai sudut 45°, hal ini terjadi karena aliran air dari

ujung *flume* cenderung meloncat dan kurang tepat saat menumbuk sudu turbin. Air yang mengalir pada turbin ulir juga cenderung terlempar keluar, sehingga daya air yang akan dikonversi menjadi daya hidrostatis tangensial untuk menggerakkan turbin jadi berkurang sehingga kecepatan putar poros jadi berkurang.

Selanjutnya, pengujian menggunakan variasi pembebanan, bertujuan untuk mencari nilai torsi, kecepatan putar poros dan daya mekanik pada setiap sudut kemiringan poros turbin ulir Archimedes. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 10-12.

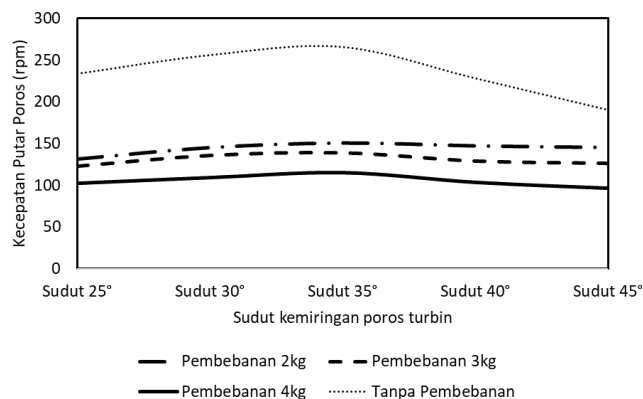
Pada pengukuran torsi, kecepatan putar poros dan daya mekanik turbin ulir, pengukuran dengan memberikan variasi pembebanan 2 kg, 3 kg dan 4 kg pada setiap kemiringan poros 25°, 30°, 35°, 40° dan 45°, pada pengukuran ini pembebanan dilakukan untuk memberikan efek pengereman pada poros turbin. Pengukuran torsi dilakukan dengan metode *Prony Brake* dimana Radius *pulley* yang dipakai pada penelitian penulis adalah 0.15 m. Adapun pengukuran daya mekanik turbin dilakukan dengan cara mengalikan nilai torsi dengan nilai kecepatan sudut rotasi poros turbin setelah diberi beban pada setiap sudut kemiringan poros turbin tertentu.



Gambar 10. Grafik hubungan antara torsi dengan sudut kemiringan poros dengan variasi pembebanan.

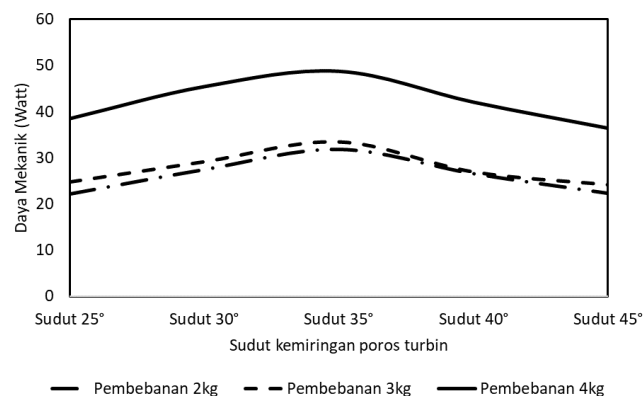
Pada setiap pembebanan masing-masing kemiringan poros turbin diperoleh grafik torsi, kecepatan putar poros dan daya mekanik turbin dengan kecenderungan membentuk grafik parabola. Walaupun selisih nilai torsi, kecepatan putar poros dan daya mekanik turbin disetiap sudut kemiringan poros tidak jauh berbeda, namun nilai maksimum yang diperoleh dari setiap pembebanan menunjukkan hasil, bahwa pada sudut kemiringan poros turbin 35° merupakan hasil maksimum dari setiap nilai

torsi, kecepatan putar poros dan daya mekanik turbin pada setiap masing- masing pembebanan.



Gambar 11. Grafik hubungan antara kecepatan putar poros turbin dengan sudut kemiringan poros dengan variasi pembebanan.

Pada awalan sudut 25° sampai sudut 35° memiliki kecenderungan mengalami kenaikan dari setiap nilai pengukuran. Hal ini disebabkan oleh pengaruh daya aliran air yang menumbuk pada lingkaran ulir sudu turbin. Pada sudut kemiringan 25° sampai dengan sudut 35°, daya aliran mengalami kenaikan karena terpengaruh dari ketinggian air (ujung *inlet* dan ujung *outlet*) dan juga aliran air masih stabil, belum ada loncatan aliran air dari ujung *flume*. Sehingga daya air yang masuk untuk digunakan memutar turbin juga masih lebih terjaga pada kondisi awal, sehingga dapat dikonversi untuk menghasilkan gaya hidrostatis tangensial lebih maksimal untuk memutar turbin ulir dan menghasilkan nilai torsi, kecepatan putar poros dan daya mekanik yang lebih optimal.



Gambar 12. Grafik hubungan antara kecepatan putar poros turbin dengan sudut kemiringan poros dengan variasi pembebanan.

Sedangkan pada sudut kemiringan poros 40° dan 45° mulai mengalami penurunan dari nilai torsi, kecepatan putar poros dan daya meknaik turbin pada setiap pembebanan. Hal ini disebabkan oleh pengaruh daya aliran air yang mengalami loncatan dari ujung *flume* sehingga air yang masuk pada turbin cenderung tidak tepat menumbuk pada sudu pertama dari turbin ulir, selain itu banyak air yang terlempar keluar dikarenakan posisi poros turbin mendekati pada posisi vertical sehingga air yang mengalir dapat terlempar melalui bagian atas sudu turbin. Semakin besar sudut kemiringan poros menyebabkan beban turbin ulir tertumpu pada *lower bearing*, sehingga akan memperbesar gesekan antara poros dan *bearing*. Semakin besar sudut kemiringan poros juga menyebabkan banyak air yang mengalir melalui *clearance* (celah) antara sudu turbin dengan *casing* turbin sehingga air tidak mengalir melalui setiap *bucket* turbin dan menyebabkan banyak *losses* daya aliran air yang akan dikonversi untuk menghasilkan daya hidrostatis tangensial untuk memutar turbin sehingga akan mengalami penurunan dari nilai torsi, kecepatan putar poros dan daya mekanik turbin.

Sedangkan pada Gambar 10 dapat diamati bahwa kecepatan putaran turbin mengalami penurunan dengan diberikan pembebanan. Hal ini dikarenakan energi putaran dikonversikan menjadi torsi untuk menghasilkan daya mekanik. Secara umum, pada studi eksperimental ini didapatkan nilai torsi terbesar didapatkan pada pembebanan 4 kg dengan nilai 4.09 Nm pada sudut 35° . Pada variasi yang sama, didapatkan nilai kecepatan putar 114.33 rpm. Nilai kecepatan putar tersebut paling rendah dibandingkan pada pembebanan 2 kg dan 3 kg. Hal ini disebabkan karena semakin besar pembebanan maka akan mengurangi nilai putaran. Adapun daya mekanik yang dihasilkan berhubungan dengan torsi dimana hasil terbaik didapatkan pada variasi pembebanan 4 kg dan sudut 35° dengan 48.81 Watt. Hasil sudut terbaik memiliki nilai yang sama dengan penelitian Hizhar, dkk [9] namun daya yang dihasilkan lebih tinggi. Hal ini dikarenakan ukuran dimensi turbin dan debit yang berbeda. Adapun menurut studi dari Harja, dkk, [8] bahwa sudut optimum memiliki selisih 3° dimana penelitian sebelumnya didapatkan sebesar 32° . Perbedaan hasil yang didapatkan tidak terlalu besar dan hal tersebut dikarenakan asumsi perancangan dan kondisi fisis yang berbeda.

Kesimpulan

Perancangan turbin ulir Archimedes telah dilakukan pada penelitian ini dimana analisis unjuk kinerja dilakukan dengan memvariasikan sudut kemiringan poros. Berdasarkan hasil studi eksperimen, dapat disimpulkan bahwa hasil nilai kecepatan putar poros maksimum dari keluaran turbin tanpa pembebanan diperoleh pada sudut 35° dengan nilai kecepatan putar poros turbin 265.5 rpm. Sedangkan untuk nilai torsi maksimum output turbin diperoleh sebesar 4.09 Nm dimana daya mekanik maksimum output turbin sebesar 48.81 W.

Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan dalam penulisan naskah ini

Daftar Pustaka

- [1] DEN, "Indonesia Energy Outlook 2018," 2019.
- [2] S. Waters and G. A. Aggidis, "Over 2000 years in review: Revival of the Archimedes Screw from Pump to Turbine," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 51, no. 497–505, 2015.
- [3] C. Rorres, "The Turn of the Screw: Optimal Design of an Archimedes Screw," *J. Hydraul. Eng.*, vol. 126, no. 1, 2000.
- [4] G. Müller and J. Senior, "Simplified theory of Archimedean screws," *J. Hydraul. Res.*, vol. 47, no. 5, 2009.
- [5] 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," *Sustain.*, vol. 12, no. 18, 2020, doi: 10.3390/SU12187352.
- [6] A. Havendri and 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," *Semin. Nas. Tah. Tek. Mesin 9*, vol. 9, pp. 274–278, 2010.
- [7] Erinofardi et al., "Experimental Study of Screw Turbine Performance based on Different Angle of Inclination," *Energy Procedia*, vol. 110, no. December 2016, pp. 8–13, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.094.
- [8] H. Budi Harja, H. Abdurrahim, S. Yoewono, and H. Riyanto, "Penentuan Dimensi Sudu Turbin dan Sudut Kemiringan Poros Turbin pada Turbin Ular Archimedes," *Met. Indones.*, vol. 36, no. 1, p. 26, 2016, doi: 10.32423/jmi.2014.v36.26-33.
- [9] Y. Hizhar, B. Yulistianto, and S. Darmo, "Rancang Bangun dan Studi Eksperimental Pengaruh Perbedaan Jarak Pitch dan Kemiringan Poros terhadap Kinerja Mekanik Model Turbin Ulir 2 Blade Pada Aliran Head Rendah," *Met. J. Sist. Mek. dan Termal*, vol. 1, no. 1, p. 27, 2017, doi: 10.25077/metal.1.1.27-34.2017.
- [10] H. F. Abdillah, O. Dinaryanto, and B. Jalaali, "Manufacturing process and experimental study of a small scale archimedes hydro powerplant by varying the number of blade," *Angkasa J. Ilm. Bid. Teknol.*, vol. 14, no. 1, pp. 65–74, 2022, doi: 10.28989/angkasa.v14i1.1221.