

ANALISIS PENGARUH PERBEDAAN DIAMETER DALAM TERHADAP EFISIENSI TURBIN ULIR ARCHIMEDES

Muhammad Iqbal Habibi^[1], Asral^[2]

Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau,
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru, 28293, Indonesia
^[1]muhammad.iqbal5943@student.unri.ac.id, ^[2]asral_2008@yahoo.com

ABSTRACT

Among renewable energy sources, energy from water in small scale water power plants much in demand because the operation is cheap, clean and environmentally friendly. Especially in low head, this type of power plants becomes the best choice for electrifying remote area in developing country and one of the best type is screw turbine. In this study the author will discuss the effect of differences inner diameter of screw turbine on the efficiency of the Archimedes turbine. This experiment using two variations of the ratio of the inner diameter to the outer diameter which is $0.1D_o$ and $0.5D_o$ at turbine length 0.9 m and outer diameter 0.25 m and pitch $2R_o$ (the turbine length, outer diameter and pitch both turbine are equal). This experiment using variety of water flow discharge from $1.35 - 0.09\text{ l/s}$ and variety of angle of inclination of the turbine from $0^\circ - 60^\circ$ (with the addition of angle by 10°). This test is carried out to determine the efficiency of both turbine. The result of this experiment indicating the most efficiency achieved by turbine with inner diameter $0.5D_o$ which is 15.71% and followed by inner diameter $0.1D_o$ is 6.85% . The most efficiency of the both turbine obtained on angle of inclination 40° and flow discharge 0.8 l/s .

Keywords: Screw turbine, inner diameter, flow discharge, angle of inclination, efficiency

1. Pendahuluan

Diantara sumber energi terbarukan, energi dari air pada pembangkit skala kecil (mini/micro hydropower) banyak diminati dikarenakan operasinya yang murah, bersih dan ramah lingkungan [1]. Khususnya untuk head rendah, sistem pembangkit ini menjadi pilihan terbaik untuk elektrifikasi daerah terpencil di negara berkembang [2]. Di negara berkembang seperti Indonesia, dari potensi 75000 MW tenaga mikrohidro yang ada, hanya $7,4\%$ energi yang baru dimanfaatkan [3], sementara masih banyak area terpencil yang belum dialiri listrik.

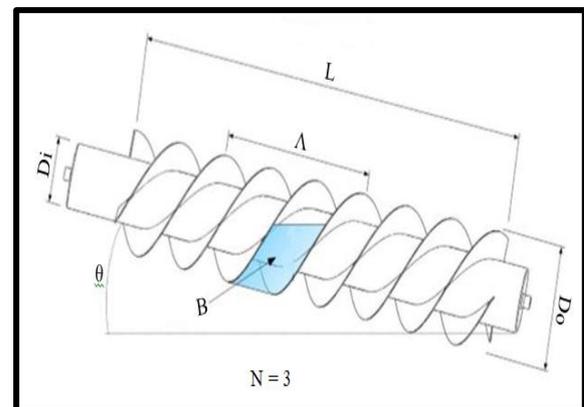
Turbin air merupakan suatu alat konversi energi air menjadi energi mekanik, lalu energi mekanik diubah menjadi energi listrik oleh generator. Besarnya energi yang digunakan untuk mengkonversikan energi air menjadi energi listrik, tergantung dari besarnya debit air (Q) yang menumbuk sudu turbin, luas penampang sudu yang terkena air (A) untuk menghasilkan daya (P) [4].

Turbin Archimedes adalah salah satu micro hydropower yang turbinnya berbentuk sebuah ulir [5]. Efisiensi turbin Archimedes sangat dipengaruhi oleh geometri dari turbin ulir tersebut. Geometri ini adalah jenis ulir, diameter dalam, diameter luar, jumlah sudu, pitch dan sudut kemiringan dari peletakan turbin. Setiap perubahan yang dilakukan pada geometri turbin akan menghasilkan nilai efisiensi yang berbeda pula.

Penelitian dalam mengembangkan performa turbin ulir oleh Muller dan Senior menunjukkan bahwa maksimum efisiensi yang dapat dicapai dipengaruhi kombinasi dari geometri turbin dan kerugian mekanik [6].

Terdapat dua aspek desain yang mempengaruhi geometri turbin ini yaitu parameter internal dan eksternal. Parameter internal adalah nilai yang dapat dimodifikasi dan diubah selama tahap desain. Parameter eksternal nilai yang ditentukan dari kondisi atau tempat peletakan turbin ini [7].

Parameter eksternal biasanya ditentukan oleh penempatan ulir dan bahan yang tersedia untuk konstruksi, sedangkan parameter internal bebas dipilih untuk mengoptimalkan kinerja turbin ulir yang dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Geometri turbin ulir [7]

Parameter eksternal pada turbin ulir yaitu :

- D_o = Diameter silinder luar turbin (m)
- θ = Sudut kemiringan peletakan turbin (rad)
- L = Panjang total turbin (m)
- Q = Debit (m^3/s)
- H = Head (m)

Parameter internal :

- Di = Diameter silinder dalam turbin (m)
- Λ = Pitch (periode) dari sudu
- B = "Bucket" atau daerah diantara dua sudu turbin yang berisi air
- N = Jumlah sudu (*blades*)
- n = Kecepatan putaran turbin (rpm)

Diameter dalam (Di) turbin ulir adalah salah satu parameter internal yang dapat divariasikan untuk mendapatkan nilai efisiensi turbin ulir yang berbeda. Pada penelitian ini, diameter dalam ditentukan dengan perbandingan dari diameter luarnya (Do). Dimana variasi yang akan diuji adalah 0,1Do dan 0,5Do. Dari kedua variasi diameter dalam ini akan dihitung nilai efisiensi yang terbesar dan yang paling cocok untuk digunakan pada turbin Archimedes. Efisiensi turbin Archimedes akan didapat melalui uji eksperimental dengan menghitung torsi yang dihasilkan turbin dengan sistem pengereman dan membandingkan hasilnya dengan energi air teoritis.

Beberapa peneliti sudah mengembangkan penelitian Archimedes screw antara lain mengenai jumlah sudu atau blade optimal dari turbin ulir oleh Rorres. Dimana Rorres menguji tiga turbin ulir dengan variasi jumlah sudu yaitu 1,2 dan 3. Hasil penelitian menunjukkan bahwa turbin ulir dengan 3 sudu memiliki efisiensi yang lebih besar dari sudu 1 dan 2.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Hizhar Yul meneliti pengaruh perbedaan kisar (pitch) dan kemiringan peletakan turbin terhadap kinerja model turbin ulir dua sudu pada aliran head rendah [8]. Hasil penelitiannya adalah kisar 2Ro menghasilkan kecepatan putar lebih tinggi dari 1,6Ro dan 1,2Ro. Dari penelitian ini Hizhar Yul berpendapat bahwa semakin besar jarak pitch maka semakin besar pula daya yang dihasilkan dari turbin ulir dan daya terbesar dihasilkan pada sudut peletakan 35° dari sudut 25°, 30°, 40°. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Saroinsong Tineke dkk melaporkan penelitiannya bahwa efisiensi turbin ulir Archimedes yang baik terjadi pada sudut peletakan poros 25° dari variabel kemiringan 35° dan 45° [9].

Penelitian yang dilakukan oleh Nur Khamdi dan Amnur Akhyan mengenai pengaruh jarak pitch, yang mana jarak pitch adalah 1,6Ro, 2Ro dan 2,4Ro menunjukkan bahwa pitch 1,6Ro menghasilkan efisiensi yang lebih besar dari 2Ro dan 2,4 Ro [10]. Maka hasil penelitian ini berbanding terbalik oleh penelitian yang dilakukan oleh Hizhar Yul.

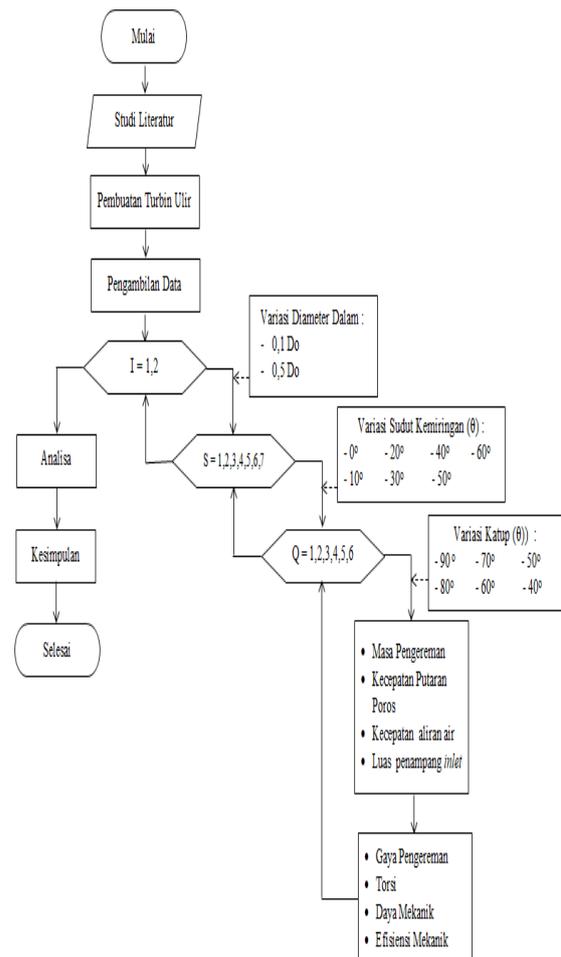
Sedangkan penelitian mengenai pengaruh diameter dalam dari turbin ulir masih sangat sedikit dilakukan. Peneliti cenderung bebas memilih diameter dalam turbin ulir seperti yang dilakukan oleh peneliti Nur Khamdi dan Amnur Akhyan dimana diameter dalam yang dibuat adalah 0,3Do sedangkan Saroinsong Tineke dkk adalah 0,5Do.

Dikarenakan dimensi kedua penelitian ini sangat berbeda dimana diameter luar turbin ulir Nur Khamdi sebesar 0,726 m dan panjang turbin 2 m sedangkan Saroinsong Tineke sebesar 0,11 m dan panjang 0,9 m, maka hasil kedua penelitian ini tidak dapat dibandingkan untuk mengetahui diameter dalam optimal dari turbin ulir. Maka dari itu penelitian mengenai pengaruh diameter dalam turbin ulir terhadap efisiensi turbin Archimedes masih perlu dilakukan.

2. Metodologi

2.1 Alur Penelitian

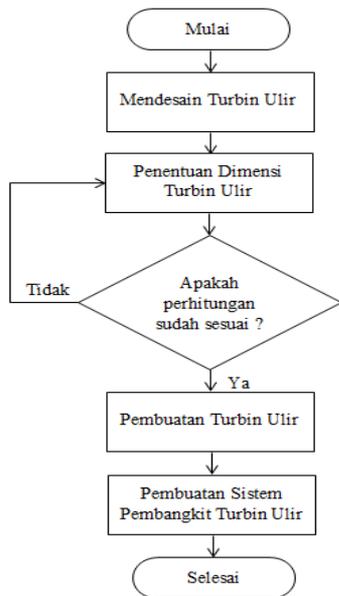
Dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini dengan judul "Analisis Pengaruh Diameter Dalam Turbin Ulir Terhadap Efisiensi Turbin Archimedes" penulis menggunakan diagram alir sebagai acuan dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Diagram alir penelitian diperlihatkan pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

2.2 Perancangan Alat

Dalam perancangan alat "Analisis Pengaruh Diameter Dalam Terhadap Efisiensi Turbin Ulir Archimedes", penulis menggunakan diagram alir sebagai acuan dalam menyelesaikan tugas akhir ini yang dapat dilihat pada gambar 3.



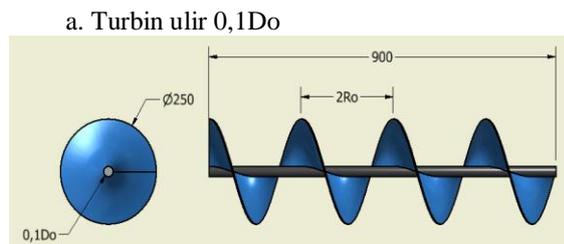
Gambar 3. Diagram alir perancangan turbin ulir

1. Mendesain turbin ulir

Mendesain turbin ulir skala laboratorium yang dilakukan dengan bantuan aplikasi inventor. Desain turbin ulir didasari dari beberapa penelitian terdahulu yang kemudian dimodifikasi beberapa bagiannya.

2. Penentuan dimensi turbin ulir

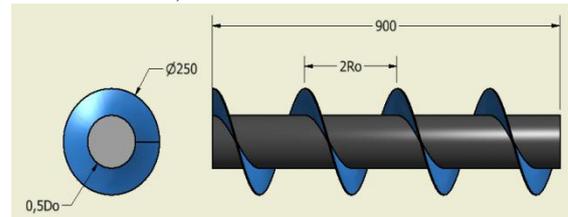
Menurut studi literatur yang sudah dibahas sebelumnya bahwa parameter turbin ulir terdiri dari internal dan eksternal. Dimana parameter eksternal ditentukan berdasarkan kondisi tempat peletakan turbin ulir dan ketersediaan bahan. Maka untuk itu peneliti mensurvei salah satu air terjun yang ada di provinsi Riau yaitu air terjun Koboko yang terletak di kabupaten Kampar untuk mendapatkan parameter eksternal turbin ulir. Parameter eksternal yang didapat adalah panjang turbin dan diameter luar turbin. Untuk lebih jelas, penentuan dimensi dari kedua jenis turbin dapat dilihat pada gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Dimensi turbin ulir 0,1Do

Dimana :
 Panjang (L) = 900 mm
 Diameter luar turbin (Do) = 250 mm
 Pitch (A) = 2Ro = 250 mm
 Diameter dalam turbin (Di) = 0,1Do = 25 mm

b. Turbin ulir 0,5Do

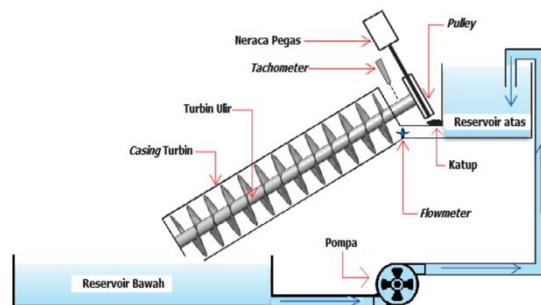


Gambar 5. Dimensi turbin ulir 0,5Do

Dimana :
 Panjang (L) = 900 mm
 Diameter luar turbin (Do) = 250 mm
 Pitch (A) = 2Ro = 250 mm
 Diameter dalam turbin (Di) = 0,5Do = 125 mm

2.3 Skema pengujian alat

Pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan prestasi-prestasi turbin ulir dilakukan dengan membuat rangka uji yang berkonsep air terjun. Dimana air dari reservoir atas akan mengalir kebawah akibat gravitasi dan akan menumbuk sudu turbin ulir yang kemudian air akan ditampung pada reservoir bawah dan kemudian dipompa kembali ke reservoir atas agar siklus air dapat terus berjalan. Poros turbin ulir akan dihubungkan dengan pulley dan belt untuk mendapatkan massa pengereman yang ditunjukkan oleh neraca pegas (gambar 6).



Gambar 6. Skema pengujian alat

2.4 Pengambilan data

Pengambilan data dapat dilakukan ketika turbin ulir sudah berputar dengan stabil dalam 1 menit. Data yang akan diambil dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Tabel pengambilan data

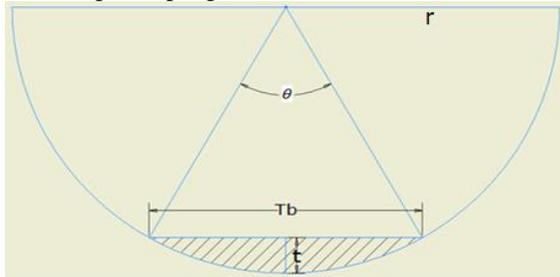
Katup (θ)	v (m/s)	t (m)	Tb (m)	m (kg)	n (rpm)
--------------	------------	----------	-----------	-----------	------------

Dimana :
 v = Kecepatan aliran air
 t = Kedalaman air
 Tb = Panjang tali busur
 m = Massa pengereman
 n = Kecepatan putaran poros

2.5 Pengolahan data

Daya yang telah didapat, kemudian akan diolah untuk mendapatkan efisiensi mekanik dari kedua jenis turbin ulir, yang antara lain :

a. Luas penampang (A)



Gambar 7. Sketsa luas penampang inlet

Seperti yang terlihat pada gambar 7, untuk mencari luas bagian yang diarsir atau daerah yang dialiri oleh air maka persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut [11] :

$$A = \frac{\theta}{360} \pi r^2 - \frac{1}{2} r^2 \sin(\theta) \quad (1)$$

Dimana :

- r = Jari-jari inlet = 0,09 m
- Tb = Panjang tali busur aliran air (m)
- t = Kedalaman aliran air (m)

b. Debit aliran (Q)

$$Q = v \times A \quad (2)$$

Dimana :

- v = Kecepatan aliran air (m/s)
- A = Luas penampang (m²)

c. Daya teoritis (P_{teo})

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

Dimana :

- Q = Debit aliran (m³/s)
- ρ = Massa jenis air (kg/m³)
- H = Head (m)
- g = Percepatan gravitasi (m/s²)
- P = Daya hidrolis (W)

d. Gaya pengereman (F)

$$F = m \times g \quad (4)$$

Dimana :

- m = Massa pengereman (kg)
- g = Percepatan gravitasi (m/s²)

e. Torsi (T)

$$T = F \times r \quad (5)$$

Dimana :

- F = Gaya pengereman (N)
- r = Lengan momen atau jari-jari pulley (m)

f. Daya mekanik (P_{mek})

$$P_{mek} = \frac{T2\pi n}{60} \quad (6)$$

Dimana :

- T = Torsi (N.m)
- n = Kecepatan putaran per menit (rpm)

g. Efisiensi mekanik (η)

$$\eta = \frac{P_{mek}}{P_{teo}} \times 100\% \quad (7)$$

Dimana :

- P_{teo} = Daya teoritis (watt)
- P_{mek} = Daya mekanik (watt)

2.6 Variabel pengujian

Beberapa variabel pengujian pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Debit aliran

Diukur menggunakan flowmeter dan jangka sorong. Dimana debit aliran divariasikan sebanyak enam kali berdasarkan bukaan sudut katup yaitu mulai dari sudut katup 90°, 80°, 70°, 60°, 50°, 40°.

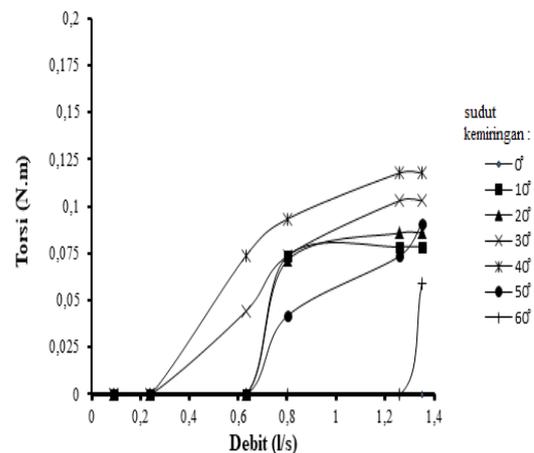
2. Sudut kemiringan turbin

Divariasikan sebanyak tujuh kali mulai dari kemiringan sudut 0°, 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°.

3. Hasil

Hasil perhitungan yang telah didapat akan diinput kedalam grafik untuk dapat dianalisa, antara lain :

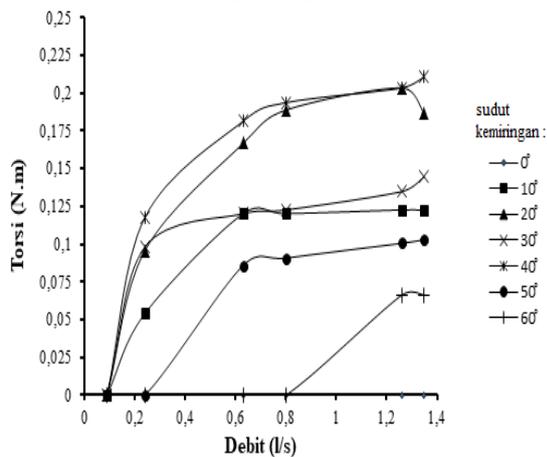
3.1 Hubungan debit dan torsi turbin ulir 0,1Do dan 0,5Do



Gambar 8. Grafik hubungan debit dan torsi turbin ulir 0,1Do

Dari grafik yang diperlihatkan pada gambar 8, dapat dianalisa bahwa semakin besar penambahan volume debit maka nilai torsi akan semakin tinggi untuk semua variasi sudut kemiringan. Sedangkan penambahan sudut kemiringan tidak akan meningkatkan nilai torsi. Nilai torsi tertinggi terjadi pada sudut kemiringan 40° yaitu sebesar 0,11772 N.m dan diikuti oleh sudut kemiringan 30°, 20°,

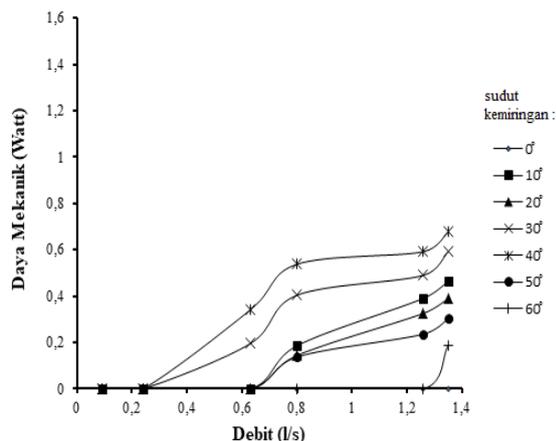
50°, 10°, 60° dan 0° yang tidak menghasilkan torsi karena turbin tidak dapat berputar.



Gambar 9. Grafik hubungan debit dan torsi turbin ulir 0,5Do

Dari grafik yang terlihat pada gambar 9, dapat dianalisa bahwa nilai torsi yang terjadi pada turbin 0,5Do lebih besar dibandingkan dengan turbin 0,1Do pada sudut kemiringan 40° yaitu sebesar 0,21092 N.m pada volume debit sebesar 1,35 l/s, sedangkan torsi terkecil pada sudut kemiringan 0° yang mana turbin tidak dapat berputar. Ini artinya turbin ulir 0,5Do memiliki gaya pengereman dan kecepatan putaran yang lebih tinggi daripada turbin 0,1Do. Dapat dianalisa juga dari kedua grafik bahwa sudut kemiringan yang menghasilkan torsi tertinggi adalah sudut kemiringan turbin 40°.

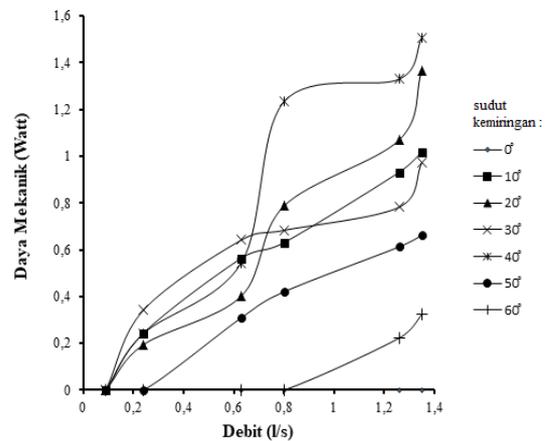
3.2 Hubungan debit dan daya mekanik turbin ulir 0,1Do dan 0,5Do



Gambar 10. Grafik hubungan debit dan daya mekanik turbin ulir 0,1Do

Dari grafik yang terlihat pada gambar 10, dapat dianalisa bahwa penambahan volume debit akan meningkatkan jumlah daya mekanik yang terjadi. Dimana daya mekanik terbesar dicapai pada sudut kemiringan 40° yaitu sebesar 0,67644 Watt pada debit 1,35 l/s. dan terkecil pada sudut

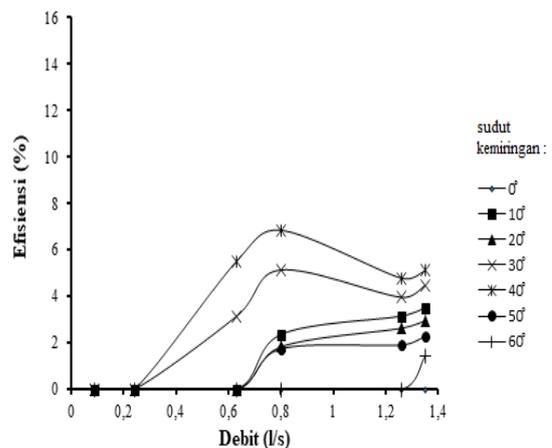
kemiringan 0° yang mana turbin tidak dapat berputar. Dapat dianalisa juga bahwa turbin 0,1Do mulai dapat menghasilkan daya ketika variasi debit sebesar 0,63 l/s yaitu pada bukaan katup 60°.



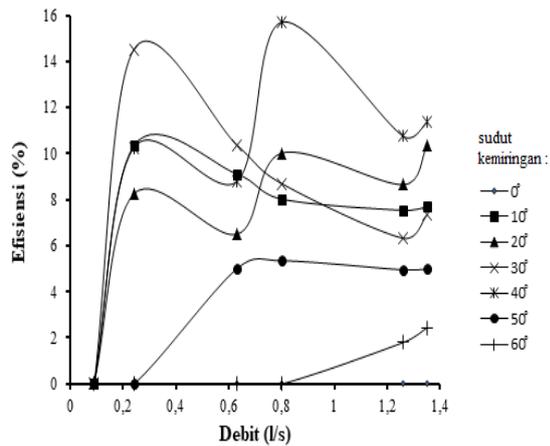
Gambar 11. Grafik hubungan debit dan daya mekanik turbin ulir 0,5Do

Dari hasil grafik yang terlihat pada gambar 11, dapat dianalisa bahwa penambahan volume debit akan meningkatkan jumlah daya mekanik yang terjadi. Daya mekanik terbesar dicapai pada sudut kemiringan 40° dengan variasi debit sebesar 1,35 l/s (bukaan katup 90°) yang mana daya keluarannya adalah 1,50557 Watt. Dapat dilihat bahwa turbin 0,5 menghasilkan daya mekanik yang lebih besar dibandingkan turbin 0,1Do karena turbin 0,5Do menghasilkan torsi yang lebih besar dibandingkan turbin 0,1Do. Hal yang dapat dianalisa juga bahwa jumlah debit minimal yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya pada turbin 0,5Do adalah sebesar 0,24 l/s (bukaan katup 50°).

3.3 Hubungan debit dan efisiensi turbin ulir 0,1Do dan 0,5Do



Gambar 12. Grafik hubungan debit dan efisiensi turbin ulir 0,1Do



Gambar 13. Grafik hubungan debit dan efisiensi turbin ulir 0,5Do

Dari kedua grafik efisiensi yang disajikan pada gambar 12 dan 13, dapat dianalisa bahwa efisiensi terbesar yang dicapai kedua turbin berada pada sudut kemiringan 40° dan turbin 0,5Do memiliki efisiensi yang lebih besar daripada turbin yaitu sebesar 15,71% sedangkan turbin 0,1Do sebesar 6,85%. Dapat dilihat juga bahwa efisiensi yang tertinggi dari kedua jenis turbin bukan dicapai oleh variasi debit yang paling besar yaitu 1,35 l/s, melainkan variasi debit sebesar 0,8 l/s. Ini artinya semakin besar jumlah daya mekanik tidak akan menambah efisiensi turbin ulir.

Ini terjadi karena besar daya teoritis atau daya air yang tersedia yang dapat dimanfaatkan pada debit aliran 0,8 l/s jauh lebih besar dari pada debit aliran 1,35 l/s. Artinya dari debit aliran 0,8 l/s, daya yang dapat dimanfaatkan sebesar 15,71% sedangkan debit aliran 1,35 l/s hanya 11,37%. Banyaknya daya teoritis yang hilang pada debit aliran 1,35 l/s terjadi karena penambahan debit yang lebih besar dari 0,8 l/s akan menyebabkan kecepatan putaran turbin semakin cepat. Yang mana jika ditinjau dari hasil torsi dan daya mekanik maka hal ini sangat bagus, namun untuk efisiensi tidak karena ketika putaran turbin yang sangat cepat akan menyebabkan air pada *bucket* turbin akan memercik atau keluar dari *bucket*.

Dan hal yang dapat dianalisa juga bahwa penyebab sudut kemiringan 0° tidak menghasilkan efisiensi sama sekali karena saat pengujian, ketika air menumbuk sudu turbin, air akan tumpah dan tidak masuk kedalam *bucket* turbin yang menyebabkan turbin tidak dapat berputar. Ini artinya sudut kemiringan 0° tidak cocok pada kondisi air yang jatuh dari suatu ketinggian tertentu atau dapat dikatakan tidak cocok jika dipasang pada lokasi seperti air terjun.

Pengaruh variasi debit berbanding lurus terhadap nilai torsi dan daya mekanik turbin ulir, dimana semakin besar debit maka torsi dan daya mekanik akan semakin besar. Namun hal ini tidak berlaku untuk efisiensi turbin ulir, dimana semakin

besar debit tidak akan menambah nilai efisiensi turbin. Ini merupakan salah satu ciri khas yang dimiliki turbin ulir dimana turbin ini memiliki "titik batas". Dimana setelah titik batas ini, maka penambahan debit tidak akan lagi menambah performa nilai turbin melainkan mengurangi performanya.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai analisis pengaruh diameter dalam turbin ulir terhadap efisiensi turbin Archimedes, dapat disimpulkan bahwa :

1. Efisiensi tertinggi dicapai oleh turbin ulir dengan diameter dalam 0,5Do yaitu sebesar 15,71% sedangkan turbin ulir dengan diameter dalam 0,1Do sebesar 6,85%.
2. Pada penelitian didapatkan bahwa efisiensi terbesar untuk kedua jenis turbin berada pada debit aliran 0,8 l/s yang menghasilkan efisiensi sebesar 15,71% dan 6,85% dan sudut kemiringan yang menghasilkan efisiensi terbesar ini dicapai pada sudut kemiringan 40° untuk kedua jenis turbin.

Daftar Pustaka

- [1] Abhijit Date, Aliakbar Akbarzadeh. 2009. "Design and cost analysis of low head simple reaction hydro turbine for remote area power supply". J Renew Energy.
- [2] Laghari JA, Mokhlis H, Bakar AHA, Hasmainsi Mohammad. "A comprehensive overview of new designs in the hydraulic, electrical equipment and controllers of mini hydro power plants making it cost effective technology. Journal Renewable and Sustain Energy Reviews. 2013;20:279-93.
- [3] International Renewable Energy Agency (IRENA). 2019. Renewable capacity statistic 2019. Abu Dhabi.
- [4] Dietzel, Fritz. 1990. "Turbin, Pompa dan Kompresor", Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [5] P. Gogoi, M. Handique, S. Purkayastha and K. Newar, "Potential of Archimedes Screw Turbine in Rural India Electrification: A Review", ABDU Journal of Electrical and Electronics Engineering (AJEEE), February 2018.
- [6] Muller G and Senior J. 2009. "Simplified theory of Archimedean screws". Journal of Hydraulic Research. Vol 47, pp. 666-669. University of Southampton, UK. <https://doi.org/10.1016/j.pces.2004.02.001>
- [7] Rorres, C. 2000. "The turn off the screw : Optimal design of the Archimedean screw",

Journal of Hydraulic Engineering, Januari 2000.

- [8] Yul Hizhar, 2011. "Rancang Bangun Dan Studi Eksperimental Pengaruh Perbedaan Jarak Pitch Dan Kemiringan Poros Terhadap Kinerja Mekanik Model Turbin Ulir 2 Blade Pada Aliran Head Rendah". Jurnal Dinamika Teknik Sipil. Akreditasi BAN DIKTI No : 110/DIKTI/Kep/2009 vol 12 no 1.
- [9] Saroinsong Tineke, at al. 2016. "Fluid Flow Phenomenon in a Three-Bladed Power Generating Archimedes Screw Turbine". Journal of Engineering Science and Technology Review. Vol.9, no 2, pp. 72-79. Kavala Institute of Technology, Greece (Yunani)
- [10] N. Khamdi, Akhyan A. 2016. "Efisiensi Daya Pada Turbin Screw dengan 3 Lilitan Terhadap Jarak Pitch". Jurnal Politeknik Caltex Riau. Vol. 2, No. 2.
- [11] Juliana Putu, dkk. 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, Vol. 17, No. 3.