

Analisis Efisiensi Keluaran Energi Listrik Prototipe Sistem Pembangkit Tenaga Pico Hydro Menggunakan Jenis Turbin Archimedes-Screw

Maulana Abdul Jabar¹, Gian Villany Golwa¹, Candra Bagus Prasetyo¹, Tony Indra Kusuma¹

¹Prodi Teknik Mesin, Universitas Mercu Buana Jakarta

Jl. Meruya Selatan No. 31, Meruya Selatan, Kec. Kembangan, Kota Jakarta Barat, 11610

Email: maulanaabduljabar5@gmail.com

Abstract

Electric energy is one of the premier's needs today. The continuous use of fossil energy is increasingly being available in nature, therefore the need for alternative energy. one of them is potential energy utilization in residential water reservoirs. Pico hydro is one of the suitable in the utilization of such potential energy by using archimedes screw turbines where the technology works on low flow and head. The research was conducted by creating a prototype of the pico hydro plant with a comparison of the angle of the turbine slope in the test to measure the efficiency value of the turbine. From the test results were obtained maximum turbine power at a slope angle of 35° of 0.14 watts with an efficiency of 17.3 %, an angle of 45° of 0.13 watts with an efficiency of 14.9%, and 55° of 0.10 watts with an efficiency of 10.6%.

Keywords: Renewable energy, pico hydro, archimedes screw turbines, turbine efficiency.

Abstrak

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan premier saat ini. Penggunaan energi fosil yang terus menerus semakin berkurang ketersediaannya dia alam, oleh karena itu perlu adanya energi alternatif. salah satunya pemanfaatan energi potensial pada penampungan air perumahan. Pico hydro merupakan salah satu yang cocok dalam pemanfaatan energi potensial tersebut dengan menggunakan turbin jenis Archimedes screw dimana teknologi ini bekerja pada aliran dan head yang rendah. Penelitian ini dilakukan dengan membuat prototipe pembangkit pico hydro dengan perbandingan sudut kemiringan turbin pada pengujian untuk mengukur nilai efisiensi turbin. Dari hasil pengujian didapat daya maksimum turbin pada sudut kemiringan 35° sebesar 0.14 watt dengan efisiensi 17.3 %, sudut 45° sebesar 0.13 watt dengan efisiensi 14.9 %, dan 55° sebesar 0.10 watt dengan efisiensi 10.6 %.

Kata Kunci: Energi terbarukan, pico hydro, turbin archimedes screw, efisiensi turbin

LATAR BELAKANG

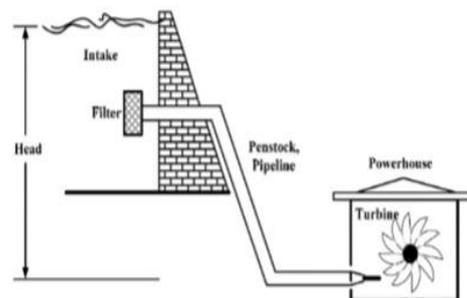
Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan premier dalam kehidupan sehari-hari saat ini. Perkembangan teknologi dan pertumbuhan penduduk menuntut pasokan listrik lebih tinggi.

Sumber energi listrik dengan menggunakan energi fosil saat ini, ketersediaannya di alam semakin lama semakin menyusut, oleh karena itu energi alternatif sangat dibutuhkan sebagai sumber energi terbarukan [1].

Di Indonesia sesungguhnya memiliki potensi sumber energi terbarukan yang sangat melimpah, seperti, pemanfaatan panas bumi, biodiesel, pemanfaatan surya, energi angin dan *hydro power* [2]. Oleh karena itu, kita harus dapat menganalisa dan melihat potensi pemanfaatan energi potensial yang ada disekitar kita.

Dari berbagai sumber energi terbarukan yang ada, *hydro power* merupakan salah satu teknologi sumber energi terbarukan yang efisien dalam pengembangannya. *Hydro power* memproduksi listrik dari hasil konversi energi perpindahan air dari

tempat tinggi ke tempat rendah, sehingga pengembangan teknologi ini secara ekonomis dapat diprediksi dan dikomersil [3]. Dalam perkembangannya, teknologi *hydro power* dibagi menjadi dua klasifikasi, yaitu kapasitas daya dan fasilitasnya.



Gambar 1. Hydroelectric generation diagram [4]

Dimana berdasarkan kapasitas meliputi kapasitas daya besar, kecil, mini, mikro, dan piko hidro. Kemudian berdasarkan fasilitasnya meliputi lima teknologi, yaitu bendungan, aliran sungai,

teknologi aliran, penyimpanan dipompa, dan teknologi vortex gravitasi.

Pembangkit *pico hydro* merupakan salah satu yang termasuk ke dalam klasifikasi berdasarkan kapasitas daya. Dimana energi listrik yang dihasilkan sebesar <5kW. Teknologinya dapat dioperasikan pada *head* dan aliran yang rendah. [2]

Dalam perkembangan teknologi turbin memiliki keberagaman variasi, salah satunya turbin jenis Archimedes screw yang termasuk ke dalam *pump as turbin (PAT)* dimana teknologi ini merupakan kebalikan dari teknologi pompa air. Teknologi tersebut yang kemudian dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan dalam sistem pembangkit tenaga *micro hydro* dan *pico hydro* [5].

Setelah melakukan observasi di lapangan, banyak terdapat potensi sumber energi yang dapat dimanfaatkan, salah satunya adalah potensial air pada penampungan air perumahan. Dengan melalui prototipe yang telah dibuat, penelitian ini akan menjabarkan nilai efisiensi keluaran energi listrik yang dihasilkan melalui perbandingan sudut kemiringan turbin Archimedes Screw.

TINJAUAN PUSTAKA

Energi Terbarukan (Renewable Energy)

Energi terbarukan adalah salah satu sumber energi alternatif yang dapat secara cepat diproses di alam. Pada dasarnya, Indonesia memiliki potensi sumber energi yang sangat besar ketersediaannya di alam. Dengan pemanfaatan sumber energi terbarukan, dapat mendorong pembangunan berkelanjutan di Indonesia terutama pada wilayah yang tidak terjangkau oleh pusat.

Di Indonesia saat ini telah terdapat bentuk energi baru dan terbarukan (EBT) salah satunya energi angin, energi air, energi surya, energi kelautan, energi biomasa. Seluruhnya telah tersebar di seluruh wilayah Indonesia dan telah diuji baik secara besar maupun kecil, potensi sumber energi air merupakan salah satu yang lebih efisien dalam pengembangannya.

Pembangkit Listrik Tenaga Air (Hydro Power)

Hydro power atau tenaga air merupakan salah satu bentuk dari energi matahari. Dimana energi surya yang dirubah menjadi energi panas laten pada proses penguapan air, menggerakkan proses siklus hidrologi permukaan bumi dimana tenaga air bergantung [6].

Tenaga air sendiri merupakan energi terbarukan yang memanfaatkan potensial pada air. Produksi listrik pada *hydro power* memproses

konversi energi perpindahan air dari tempat tinggi ke tempat rendah.

Dalam perkembangannya, *hydro power* memiliki klasifikasi jenis pembangkitnya yang didasarkan pada kapasitas daya dan teknologinya.

Tabel 1. Klasifikasi *hydro power* berdasarkan kapasitas daya [7].

Jenis Pembangkit	Daya
<i>Large hydro</i>	>100 MW
<i>Medium hydro</i>	15 – 100 MW
<i>Small hydro</i>	1 – 15 MW
<i>Mini hydro</i>	100 kW <x<1 MW
<i>Micro hydro</i>	5 – 100 kW
<i>Pico hydro</i>	<5 kW

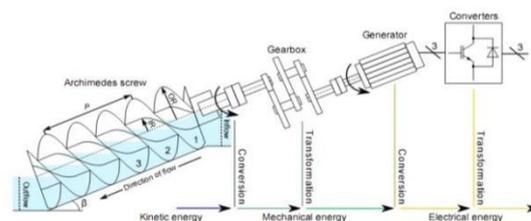
Tabel 1 menunjukkan klasifikasi jenis pembangkit tenaga *hydro power* dengan berdasarkan kapasitas daya yang diperoleh. Dapat dilihat bahwa jenis pembangkit dengan kapasitas daya tertinggi adalah *large hydro* dimana mampu menghasilkan listrik sebesar >100 MW dan kapasitas terendah adalah *pico hydro* dengan daya yang dihasilkan sebesar <5 kW.

Pembangkit Listrik Tenaga Pico Hydro

Piko hidro (*pico hydro*) adalah salah satu teknologi pembangkit tenaga air yang dikelompokkan berdasarkan kapasitas daya, dimana piko hidro hanya mampu menghasilkan <5 kW merupakan jenis yang terendah dalam memproduksi listrik. Pada daerah-daerah terpencil, skema piko hidro telah diakui sebagai opsi paling efektif, dengan mempertimbangkan lingkungan, prespektif ekonomi, dan social. Di seluruh dunia implementasinya telah berhasil dikembangkan [8].

Prinsip kerjanya dimana dengan pengalihan Sebagian aliran air melalui pipa pada aliran utama, air yang dialihkan yang kemudian masuk kedalam sistem pembangkit. Sistem ini memiliki tinggi lebih rendah dari aliran utama, kemudian melalui turbin sebelum kembali ke aliran air utama.

Turbin Air Archimedes Screw



Gambar 2. Skema turbin archimedes screw [5]

Dari Gambar 2 di atas dapat kita ketahui bagaimana prinsip kerja turbin air jenis Archimedes screw, yaitu:

1. Air masuk ke dalam sistem melalui *inlet* dan mengalir di sepanjang kisar sudu ulir dalam *bucket* dan keluar melalui lubang *outlet*.
2. Gaya beban pada sudu yang diberikan air dan beda tekanan hidrostatik kemudian mendorong sudu ulir dan memutar shaft terhadap sumbunya.
3. Rotor turbin kemudian meneruskan daya putar yang terhubung dengan generator, sehingga generator menghasilkan listrik.

Performansi Turbin Air

Performansi turbin merupakan kinerja turbin saat sedang beroperasi. Secara umum, kinerja turbin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [9]:

$$P_{in} = \rho Qgh \tag{1}$$

$$P_{out} = \rho Qgh_{turbine} \tag{2}$$

$$P_{real} = \rho Qgh_{turbine} \cdot n_{generator} \tag{3}$$

Dimana:

- P_{in} = daya masuk (watt)
- P_{out} = daya keluaran turbin (watt)
- P_{real} = daya yang sebenarnya dihasilkan (watt)
- ρ = densitas air (kg/m^3)
- Q = debit air (m^3/s)
- h = ketinggian (m)

P_{out} atau daya keluaran dan torsi pada turbin dapat dihitung dengan persamaan berikut [10]:

$$P_{out} = V \cdot I \tag{4}$$

Dimana:

- P_{out} = daya keluaran turbin (watt)
- V = daya listrik yang dihasilkan oleh generator (v)
- I = arus listrik yang dihasilkan (Ampere)

Kemudian untuk menghitung torsi dapat menggunakan persamaan berikut:

$$P = T \cdot 2\pi \cdot \frac{N}{60} \tag{5}$$

$$T = \frac{P}{2\pi \cdot \frac{n}{60}} \tag{6}$$

$$n = 60 \frac{P}{T \cdot 2\pi} \tag{7}$$

Dimana:

- T = torsi (Nm)
- P = daya (watt)
- N = kecepatan putaran (rpm)

Dan untuk menghitung nilai efisiensi dari turbin, maka dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [11]:

$$Efisiensi = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \tag{8}$$

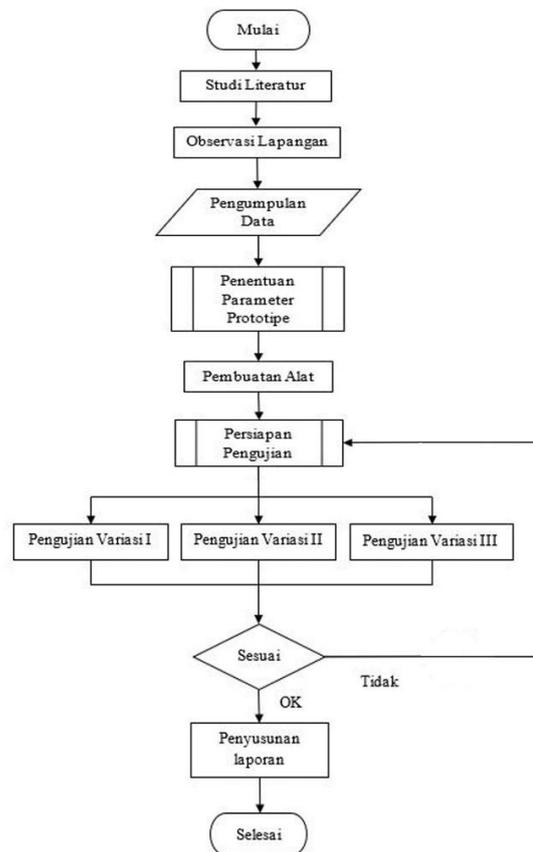
Dimana:

- P_{out} = daya keluar (watt)
- P_{in} = daya masuk (watt)

METODOLOGI PENELITIAN

Diagram Alir Penelitian

Metode dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan metode eksperimental dengan perancangan dan pengujian skala laboratorium. Runtutan penelitian dijelaskan melalui diagram alir berikut:



Gambar 3. Diagram alir penelitian

Parameter Penelitian

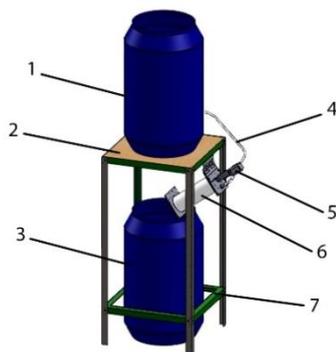
Penelitian ini dilakukan dengan merancang dan membuat prototipe sistem pembangkit piko hidro dengan menggunakan turbin jenis Archimedes screw. Dimana dalam penelitian ini menggunakan variable

bebas, terdiri dari tiga variasi pengujian pada kemiringan turbin. Berikut merupakan variasi kemiringan pengujian:

1. Kemiringan turbin 35°
2. Kemiringan turbin 45°
3. Kemiringan turbin 55°

Desain Penelitian

Berdasarkan perancangan prototipe sistem pembangkit piko hidro dengan menggunakan metode VDI 2221, berikut adalah desain yang dikehendaki:



Gambar 4. Desain prototipe

Dari Gambar 4 di atas, dapat diketahui komponen-komponen utama pada prototipe sebagai berikut:

1. Tangki air 1
2. Alas dudukan tangki air
3. Tangki air 2 (*reservoir tank*)
4. Pipa pesat (*penstock*)
5. Generator
6. Turbin Archimedes Screw
7. Rangka prototipe

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan Dan Pembuatan Rangka Prototipe

1. Pemilihan Bahan Rangka
Bahan yang digunakan dalam pembuatan alat prototipe ini yaitu dengan menggunakan besi siku ukuran $40 \times 40 \times 3$ mm.
2. Pembuatan Rangka
Pembuatan rangka dilakukan dengan melalui proses pekerjaan seperti *cutting*, *grinding*, *welding*, *drilling* dan proses finishing. Rangka utama dibuat dengan ukuran Panjang 60 cm, lebar 60 cm, dan tinggi 120 cm.
3. Pembuatan Dudukan Generator
Generator yang terhubung dengan shaft atau rotor turbin ditopang pada *cover* turbin melalui dudukan.
4. Proses Perakitan Rangka

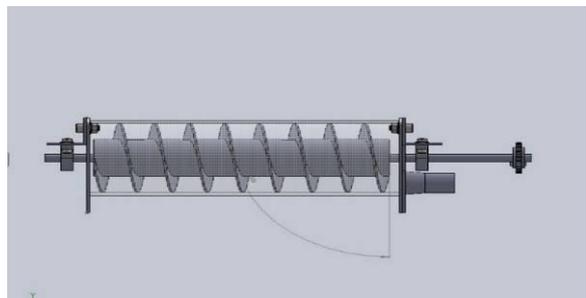
Pada proses ini dilakukan perakitan seluruh komponen utama pada prototipe.



Gambar 5. Rangka utama prototipe

Perancangan dan Pembuatan Turbin Archimedes Screw

Berdasarkan perancangan dengan menggunakan metode VDI2221 maka dipilih jenis turbin yang dikehendaki yaitu turbin jenis Archimedes screw, berikut merupakan desain turbin Archimedes screw:



Gambar 6. Desain turbin archimedes screw

Setelah dilakukan desain turbin *archimedes screw*, kemudian dilakukan proses pembuatannya dimana prosesnya meliputi:

1. Proses pembuatan sudu turbin dan shaft (rotor).
Pada proses ini sudu dibuat dengan menggunakan proses 3D printing dengan bahan plastik. Kemudian pembuatan shaft dilakukan dengan menggunakan material jenis ST37 dengan ukuran $\varnothing 12$ mm dengan Panjang 450mm.
2. Proses pembuatan cover dan rumah turbin (*bucket*)
Cover turbin meliputi inlet dan outlet turbin. Dibuat dengan menggunakan plat besi ukuran $172 \times 140,5 \times 5$ mm.
3. Proses assembling turbin
Dalam proses ini meliputi perakitan seluruh komponen utama turbin, seperti sudu turbin,

rumah turbin, shaft, bearing, kopling, pipa inlet, cover turbin, dan generator.



Gambar 7. Turbin *archimedes screw* yang telah dirakit

Proses Finishing Prototipe

Tahapan ini merupakan tahapan terakhir dalam perancangan dan pembuatan prototipe pembangkit piko hidro dengan menggunakan turbin Archimedes screw, dimana pada proses ini meliputi proses penghamplasan, pengecatan, dan *assembling* seluruh komponen utama prototipe.



Gambar 8. Prototipe yang telah dirakit

Spesifikasi Prototipe dan Turbin

Tabel 2. Spesifikasi prototipe

No.	Komponen	Dimensi
1	Rangka	60x60x12 cm
2	Tangki Air	120 liter
3	Pipa <i>Penstock</i>	1" x 70 cm
4	Alas	60x60x2 cm
5	Valve	½"

Tabel 3. Spesifikasi teknis prototipe

No.	Parameter	Dimensi
1	Debit	$33 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$
2	Daya input	0 – 1.45 watt
3	Head efektif	25-40 cm
4	<i>Adjuster kemiringan</i>	35°, 45° & 55°

Tabel 4. Spesifikasi turbin

No.	Komponen	Dimensi
1	Sudu	1
2	Rumah turbin	Ø101.6 mm
3	<i>Shaft</i>	Ø12x450 mm
4	<i>Cover turbin</i>	172x140x4 mm
5	Inlet	25.4"

Analisis Perhitungan Performa Turbin

Penelitian dilakukan dengan pengujian pada prototipe yang sebelumnya telah dibuat, berikut merupakan perhitungan kinerja turbin:

Debit Aliran Air

Pengukuran debit air, dilakukan dengan metode manual, dimana disediakan wadah dengan ukuran yang telah ditentukan, kemudian air diukur dengan menghitung berapa lama air memenuhi wadah ukur tersebut.

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{1 \text{ liter}}{3 \text{ detik}}$$

$$Q = 0.33 \text{ l/s}$$

$$Q = 33 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

Head Efektif Turbin

Pengukuran head dilakukan dengan pengukuran menggunakan mistar, berikut head efektif pada turbin dengan variasi kemiringan:

- Kemiringan 35° = 25 cm
- Kemiringan 45° = 27 cm
- Kemiringan 55° = 29 cm

Daya Potensial Air

Berdasarkan variasi yang telah dikehendaki, berikut merupakan daya potensial air (P_{in}) pada turbin:

- Kemiringan 35°
 $P_{in} = \rho Qgh$
 $P_{in} = 33 \cdot 10^{-4} \cdot 1000 \cdot 0,25 \cdot 9,81$
 $P_{in} = 0,81 \text{ Watt}$

- Kemiringan 45°
 $P_{in} = \rho Qgh$
 $P_{in} = 33.10^{-4} \cdot 1000.0,27.9,81$
 $P_{in} = 0,87 \text{ Watt}$
- Kemiringan 55°
 $P_{in} = \rho Qgh$
 $P_{in} = 33.10^{-4} \cdot 1000.0,29.9,81P_{in}$
 $= 0,94 \text{ Watt}$

Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan dengan memvariasikan sudut kemiringan pada turbin, dengan begitu dapat diketahui pada sudut berapa nilai efisiensi tertinggi terjadi.



Gambar 9. Turbin pada kemiringan 35°

Gambar 9 di atas menunjukkan letak turbin pada sudut kemiringan 35° pada prototipe. Berikut merupakan hasil pengujian pada prototipe yang telah dilakukan:



Gambar 10. Hasil pengukuran voltase pada sudut kemiringan turbin 35°



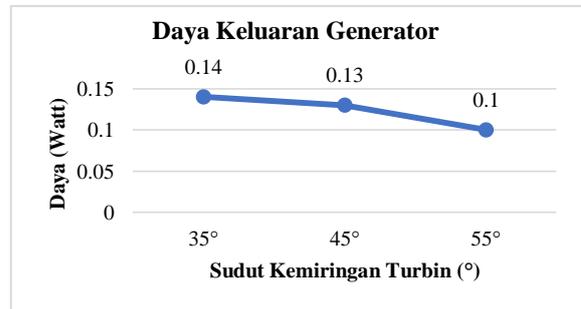
Gambar 11. Hasil pengukuran arus pada sudut kemiringan turbin 35°

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat dilihat besar keluaran turbin pada sudut kemiringan 35° sebesar 11 Volt yang ditunjukkan oleh Gambar 10, dan dengan arus sebesar 13.10 mA yang ditunjukkan pada Gambar 11.

Tabel 5. Data pengujian

Sudut	Putaran (rpm)	Debit (m ³ /s)	Output		
			V (DC)	I (A)	P (Watt)
35°	167	33.10 ₄	11	0.0131	0.14
45°	152	33.10 ₄	10.47	0.0129	0.13
55°	146	33.10 ₄	9.5	0.0108	0.10

Pada data yang ditampilkan oleh tabel di atas merupakan hasil dari pengujian pada prototipe, kemudian untuk melihat tren hasil pengujian maka divisualkan secara grafik pada Gambar 12 :



Gambar 12. Grafik hasil pengujian (daya)

Dari Gambar 12 di atas, dapat kita ketahui tren hasil dari pengujian yang telah dilakukan pada prototipe dimana daya yang dihasilkan tertinggi pada sudut kemiringan 35° dengan keluaran sebesar 0.14 watt, kemudian menurun dengan keluaran sebesar 0.13 watt pada sudut kemiringan 45° dan terendah sebesar 0.10 watt pada sudut kemiringan 55°

Torsi Turbin Air

Untuk mengetahui besar torsi yang dihasilkan oleh turbin, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 6. Dari data yang dihasilkan oleh pengujian, berikut merupakan hasil perhitungan torsi yang dihasilkan oleh turbin:

- Sudut Kemiringan 35°

$$T = \frac{0.14}{2.3,14 \frac{167}{60}}$$

$$T = 0.008 \text{ Nm}$$

- Sudut Kemiringan 45°

$$T = \frac{0.13}{2.3,14 \frac{152}{60}}$$

$$T = 0.0082 \text{ Nm}$$

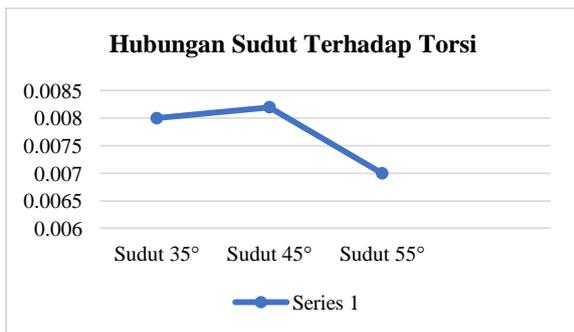
- Sudut Kemiringan 55°

$$T = \frac{0.10}{2.3,14 \frac{146}{60}}$$

$$T = 0.007 \text{ Nm}$$

Tabel 6. Torsi yang dihasilkan turbin

Sudut Kemiringan	Torsi (Nm)
35°	0.008
45°	0.0082
55°	0.007



Gambar 13. Grafik hubungan torsi dengan sudut kemiringan turbin

Dari Gambar 13 di atas dapat kita lihat tren besar torsi yang dihasilkan oleh turbin terhadap pengaruh sudut kemiringan turbin, dimana nilai torsi terbesar dihasilkan oleh sudut kemiringan 45° sebesar 0.0082 Nm dan terendah pada sudut kemiringan 55° sebesar 0.007 Nm. Hal ini dipengaruhi oleh putaran turbin dan daya keluaran (P_{out}) yang dihasilkan.

Efisiensi Kinerja Turbin

Dari data pengujian yang telah dilakukan, maka untuk menghitung nilai efisiensi dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

- Sudut kemiringan 35°

$$Efisiensi = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \%$$

$$Efisiensi = \frac{0.14}{0.81} \times 100 \%$$

$$Efisiensi = 17.3 \%$$

- Sudut kemiringan 45°

$$Efisiensi = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \%$$

$$Efisiensi = \frac{0.13}{0.87} \times 100 \%$$

$$Efisiensi = 14.9 \%$$

- Sudut Kemiringan 55°

$$Efisiensi = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \%$$

$$Efisiensi = \frac{0.10}{0.94} \times 100 \%$$

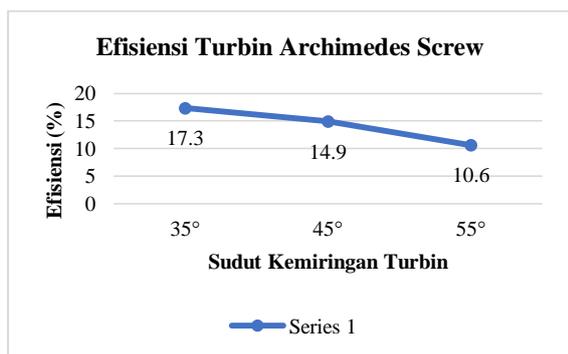
$$Efisiensi = 10.6 \%$$

Dari data yang telah didapat pada pengujian, maka dapat kita lihat pada tabel berikut:

Tabel 7. Data pengujian

	Sudut Kemiringan		
	35°	45°	55°
Efisiensi (%)	17.3	14.9	10.6

Berdasarkan data pengujian yang ditunjukkan oleh Tabel 7, maka dapat kita lihat tren dari hasil pengujian prototipe pembangkit tenaga piko hidro sebagai berikut:



Gambar 14. Grafik efisiensi turbin

Dengan melihat grafik 14 diatas, maka dapat disimpulkan bahwa nilai efisiensi turbin tertinggi terjadi pada sudut kemiringan 35° yaitu sebesar 17.3%. hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya tinggi rendam air pada sudu di dalam bucket turbin Archimedes screw. Semakin tinggi rendam air pada sudu maka semakin menurun putaran pada sudu, hal ini disebabkan oleh gaya tekan hidrolis balik.

Besar keluaran dan nilai efisiensi yang dihasilkan juga dapat dipengaruhi oleh factor teknis lain, seperti tinggi head efektif turbin dan debit aliran air yang masuk ke dalam sistem. Dimana semakin tinggi head efektifnya, maka semakin besar hasil yang didapat.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, berikut merupakan kesimpulan dari penelitian ini:

1. Dalam merancang prototipe sistem pembangkit listrik tenaga piko hidro pada bak penampungan air perumahan dibagi menjadi dua perancangan komponen utama prototipe, yaitu perancangan rangka utama prototipe dan perancangan turbin Archimedes screw. Perancangan prototipe dilakukan dengan menggunakan metode VDI 2221 dan turbin Archimedes screw dengan metode Criss Roscor. Dari hasil perancangan didapat komponen utama yaitu Rangka Utama, Tangki Air, Pipa Pesat, Turbin, dan Generator dengan spesifikasi teknis debit air sebesar = 0 - 0033 m³/s, daya input sebesar = 0 - 0.94 watt.
2. Dengan perbandingan sudut kemiringan pada turbin, didapat nilai efisiensi tertinggi terjadi pada sudut 35° yaitu sebesar 16.05% walaupun keluaran daya terbesar terjadi pada sudut 55°. Hal ini dipengaruhi oleh tinggi rendam air pada sudu di dalam bucket turbin Archimedes screw.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Suparno, Prastyawan, Y., & Rahmadyani, Z. (2014). Identifikasi Potensi Energi Mikrohidro Untuk Pemenuhan Kebutuhan Listrik Di Provinsi Kalimantan Utara. Simposium Nasional.
- [2]. Lubis, A. (2017). ENERGI TERBARUKAN DALAM PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN . *J. Tek.Ling*, 155-162.
- [3]. Elbatran, A. H., Abdel-Hamed, M. W., Yaakob, O., Ahmed, Y. M., & Ismail, M. A. (2015). Hydro Power and Turbine System Reviews. *Jurnal Teknologi*, 83-90.
- [4]. Hepbasli, A. (2006). A Key Review On Exergetic Analysis and Assesment of Renewable Energy Resources for A Sustainable Future. *Elsevier*.
- [5]. Nurdin, A. (2018). Kajian Teoritis Uji Kerja Turbin Archimedes Screw Pada Head Rendah. *Jurnal Simetris, Vol. 9 No. 2*, 783-796.
- [6]. Paish, O. (2002). Micro-hydropower: Status and Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. *Part A: Journal of Power and Energy*, 216, 31-40.
- [7]. Singh, P., & Nestmann, F. (2009). Experimental Optimization of A Free Vortex Propeller Runner For Micro Hydro Application. *Experimental Thermal and Fluid Science* , 991-1002.
- [8]. Edeoja, A., Ibrahim, S., & Kucha, E. (2015). Suitability of Pico-Hydropower Technology For Addressing The Nigerian Energy Crisis - A Review. *International Journal of Engineering Inventions*, 17-40.
- [9]. T, M. S., Syukri, M., & Sara, I. D. (2017). Rancang Bangun Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hydro Dengan Menggunakan Turbin Ulir. *Jurnal Online Teknik Elektro, Vol. 2 No. 1*, 16-22.
- [10]. Made, A. T., Antonius, I. W., & I Wayan, A. (2019). Eksperimental Pengaruh Variasi Sudut Ulir Pada Turbin Uli (Archimedes Screw) Pusat Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Dengan Head Rendah. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 83-90.
- [11]. Roy, H., & Fauzi, B. (2013). Rancang Bangun Prototipe Portable Mikro Hydro Menggunakan Turbin Tipe Cross Flow. *Seminar Nasional Fisika*, 19-25.