

Turbin Screw Untuk Pembangkit Listrik Skala Mikrohidro Ramah Lingkungan

Encu Saefudin, Tarsisius Kristyadi, Muhammad Rifki, Syaiful Arifin
Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional (Itenas) Bandung
Email: encusaefudin9@gmail.com

ABSTRACT

Type screw water turbine is a type of water turbine which has the potential for small scale power plants, where water turbine screw type is suitable for rivers in parts of Indonesia because the operation of the turbine require only a low head turbine. With the potential of irrigation water streams at the rate of 0.3302 m³/s in Banjaran village allows the installation of the turbines type screw. In the process of designing a water turbine type screw to be optimized turbine screw to determine the value of the ratio d/D , and then calculating mechanically to determine the dimensions of the turbine blades, the turbine shaft, the transmission system (gears, pulleys and belt) as well as the power that can be produced by the turbines, by using a head of 1.05 meters. The results of this research are the technical specifications of the turbine screw with the design power of 2678.35 Watt. Performance test of the turbine was carried out in Nagrak village of Ciharang irrigation canals on Cangkuang Banjaran sub district. With variable discharge, measuring the speed of rotation of the shaft generator, the voltage and current that is produced as well as the efficiency of the turbine. From the results of testing gained 17.82 % efficiency, power turbine 531.84 Watts at discharge 0,277 m³/s.

Keywords: Turbine, Head, Microhydro, Optimazed

ABSTRAK

Turbin air tipe ulir adalah salah satu tipe turbin air yang berpotensi untuk pembangkit listrik skala kecil yang ramah lingkungan, dimana turbin air tipe ulir sangat cocok untuk sungai-sungai di wilayah Indonesia karena pengoperasian turbin ini hanya memerlukan head turbin yang rendah. Melihat potensi air aliran sungai irigasi dengan debit 0,3302 m³/s yang berada di Desa Banjaran memungkinkan pemasangan turbin tipe ulir. Pada proses perancangan turbin air tipe ulir dilakukan optimasi turbin screw dengan menentukan nilai perbandingan d/D , lalu melakukan perhitungan mekanikal untuk menentukan dimensi dari sudu turbin, poros turbin, sistem transmisi (roda gigi, puli dan belt) juga daya yang mampu dihasilkan turbin, dengan head 1,05 meter. Hasil dari penelitian ini berupa spesifikasi teknis turbin ulir dengan daya hasil rancangan sebesar 2678,35 Watt dan gambar 2 dimensi serta 3 dimensi turbin ulir hasil rancangan. Hasil perancangan kemudian direalisasikan. Untuk mengetahui kinerja turbin dilakukan pengujian yang dilaksanakan di saluran Irigasi Ciharang Desa Nagrak Kecamatan Cangkuang Banjaran. Dengan variabel ukur yaitu debit, kecepatan putaran poros generator, voltase dan arus yang dihasilkan serta efisiensi turbin. Dari hasil pengujian didapat efisiensi 17.82 %, Daya turbin 531.84 Watt pada debit 0,277 m³/s.

Kata kunci: Turbin, Head, Mikrohidro, Optimasi

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan energi listrik saat ini dirasakan sangatlah penting, baik untuk kebutuhan rumahan, maupun untuk kebutuhan industri yang semakin hari semakin berkembang, sementara unit-unit pembangkit listrik yang ada hampir tidak mengalami peningkatan yang signifikan. Indonesia mempunyai potensi energi terbarukan yang cukup banyak untuk dimanfaatkan salah satunya energi air. Potensi ini belum bisa dimanfaatkan secara optimal karena keterbatasan teknologi turbin dalam memanfaatkan energinya. Untuk *head* dan debit yang sedang hingga tinggi saat ini masih mengandalkan turbin Pelton, Francis, Kaplan, dan *Crossflow*. Sedangkan untuk *head* yang rendah masih sulit untuk dikembangkan, padahal di Indonesia mempunyai potensi yang sangat besar. Perancangan ini didasari atas keterbatasan penyediaan energi listrik di daerah terpencil, padahal sekitar daerah tersebut terdapat sumber energi air yang cukup walaupun mempunyai *head* yang rendah. Sehingga potensi untuk pembangkit listrik dengan memanfaatkan energi air dengan *head* rendah perlu dikembangkan. Untuk dapat mengkonversi energi air tersebut diperlukan turbin khusus salah satunya turbin air tipe *screw*. Prinsip kerja turbin *screw* ini didasari atas sistem pompa *screw* yang berfungsi mengangkat air dari sungai menuju permukaan. Turbin *screw* pada dasarnya merupakan kebalikan dari pompa ulir. Air yang mempunyai *head* tertentu walaupun dengan debit yang rendah mampu memutar turbin *screw* yang akan dihubungkan dengan generator untuk menghasilkan listrik. Paper ini membahas perancangan, realisasi dan pengujian turbin *screw* sebagai pembangkit tenaga listrik.

2. PROSES PERANCANGAN

2.1. Sistem Konversi Energi Air

Turbin air merupakan 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) [1].

$$P = \rho g Q H \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

Q = Debit aliran (m^3/s)

ρ = massa jenis air (kg/m^3)

H = *Head* (m)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

P = Daya (W)

2.2. Jenis-jenis Turbin *Screw*

Blade merupakan bagian penting dalam suatu sistem konversi energi air sebagai komponen yang berinteraksi langsung dengan air. Turbin air tipe *screw* dibagi dalam dua jenis yaitu tipe *steel strough* dan tipe *closed compact instalation*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Turbin *screw* tipe *steel trough* adalah tipe turbin yang pada bagian sudu atau *bladenya* terbuka, sehingga air yang mengalir ke sudu turbin hanya selebar *bucket*. Sedangkan untuk turbin *screw* tipe *closed compact installation* merupakan jenis turbin yang memiliki instalasi keseluruhannya tertutup. Pada turbin tipe ini memungkinkan air yang mengalir menuju sudu turbin hampir bisa memenuhi bagian yang menutupi instalasi turbin.



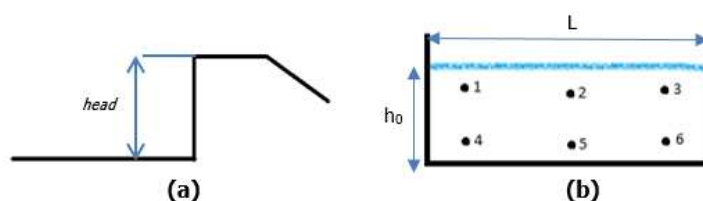
Gambar 1. Turbin Screw (a) Tipe *Steel Strough* dan (b) Tipe *Closed Compact Installation* [2]

2.3. Survey Potensi Sungai

Untuk mendapatkan data-data pendukung dilakukan survey ke lokasi di saluran irigasi sungai Ciherang Banjaran. Data-data yang dibutuhkan diantaranya *head* sungai, kecepatan aliran sungai dan lebar sungai. Gambar 2 dibawah ini menunjukkan proses pengukuran sungai yang ada di lokasi.



Gambar 2. Proses Pengukuran Lapangan



Gambar 3. Skema Pengukuran (a) *Head* dan (b) Kecepatan Aliran

Pada Gambar 3 menunjukkan skema pengukuran *head* sungai dan pada Gambar 5 menunjukkan skema pengukuran aliran sungai, angka 1 sampai 6 menunjukkan titik-titik pengukuran kecepatan aliran kemudian dirata-ratakan. Pengukuran aliran dengan menggunakan *currentmeter* dan h_0 menunjukkan kedalaman sungai.

Hasil dari pengukuran sungai daerah irigasi Ciherang Bandung, adalah sebagai berikut :

1. *Head* : 1,05 m
2. \bar{V} (Kecepatan aliran) = $0,52 \frac{m}{s}$
3. h_0 (Kedalaman sungai) = 25,4 cm = 0,254 m
4. l = 250 cm = 2,5 m

Dari persamaan debit $Q = V \times A$ dan $A = h_0 \times l$ didapat debit sebesar 0,3302 (m³/s). Dari data sungai daerah irigasi Ciherang didapatkan potensi daya turbin yang dihasilkan, dengan menggunakan persamaan (1) diperoleh :

$$P = \rho g Q H$$

$$P = 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 0,3302 \frac{m^3}{s} \times 1,05 m = 3401,22 \text{ watt} = 3,40 \text{ kW}$$

Dimana nilai ρ adalah massa jenis air sebesar $1000 \frac{kg}{m^3}$

2.4. Optimasi Turbin Air Type Screw

Pembahasan yang akan diuraikan adalah mengenai optimasi dari turbin air tipe *screw* dengan efisiensi yang optimum dengan mempertimbangkan dimensi turbin dan bahan-bahan yang banyak tersedia di pasaran. Untuk menentukan dimensi dari turbin air tipe *screw* dilakukan optimasi untuk menentukan efisiensi tertinggi dari turbin untuk berbagai sudut ulir, sudut turbin, dan perbandingan diameter. Sehubungan dengan pertimbangan ketersediaan bahan yang ada di pasaran dan kemudahan untuk pembuatan maka dalam optimasi turbin air tipe *screw* dipilih nilai $\frac{d}{D} = 0,3$. Data hasil optimasi turbin *screw* ditunjukkan pada Tabel 3.

2.5. Perhitungan Dimensi Turbin Screw

Menurut persamaan Archimedes *screw*, dengan debit aliran Q (m³/s) diperoleh dari persamaan[2] :

$$Q = k n D^3 \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

k = Konstanta ulir

n = Putaran turbin *screw* (rpm)

D = Diameter turbin (m)

Untuk nilai konstanta ulir didapat dari tabel nilai konstanta ulir.

Tabel 1. Nilai Konstanta Ulir [2]

d/D	22°		26°		30°		
	1.0 D	1.2 D	0.8 D	1.0 D	1.2 D	0.8 D	1.0 D
0.3	0.331	0.335	0.274	0.287	0.286	0.246	0.245
0.4	0.35	0.378	0.285	0.317	0.323	0.262	0.271
0.5	0.345	0.38	0.281	0.317	0.343	0.319	0.287
0.6	0.315	0.351	-	0.3	0.327	-	0.273

Keterangan :

d/D = Perbandingan diameter poros turbin terhadap diameter sudu turbin 22°, 26°, 30° = sudut ulir (α)

Jika sudut turbin $\leq 30^\circ$, maka $S = 1,2 \cdot D$

Jika sudut turbin = 30°, maka $S = 1,0 \cdot D$

Jika sudut turbin $\geq 30^\circ$, maka $S = 0,8 \cdot D$

S = *pitch* turbin (m)

Untuk putaran turbin *screw* dipilih dari tabel putaran operasi untuk turbin *screw*, dan dipilih untuk kategori *fast* yaitu 30 rpm.

Tabel 2. Putaran Operasi Turbin Screw [2]

Speed	Turbine revolution per minute (rpm)
Slow	20-23
Medium	25-26
Fast	29-31

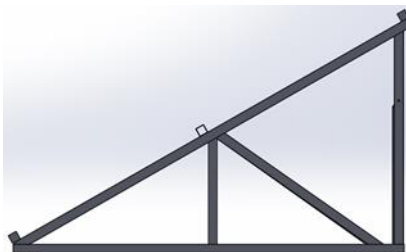
Persamaan yang digunakan untuk dimensi turbin *screw* sebagai berikut [2] :

1. Diameter turbin : D (m)

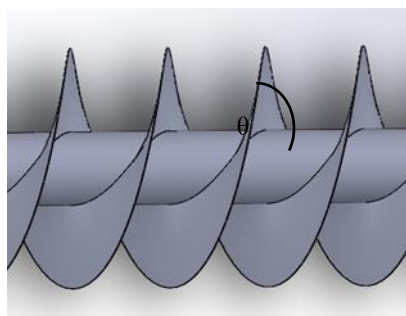
$$D^3 = \frac{Q}{kn} \dots\dots\dots(3)$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{Q}{kn}}$$

Dimana : k = Nilai konstanta ulir yang diperoleh dari Tabel 1.



Gambar 4. Sudut Turbin



Gambar 5. Sudut Ulir, Diameter Poros Turbin dan Diameter Turbin

2. Diameter poros turbin : d (m)

Untuk perbandingan diameter poros turbin terhadap diameter sudu turbin telah ditentukan [2] :

$$\frac{d}{D} = 0,3 \dots\dots\dots(4)$$

3. Panjang turbin : L (m)

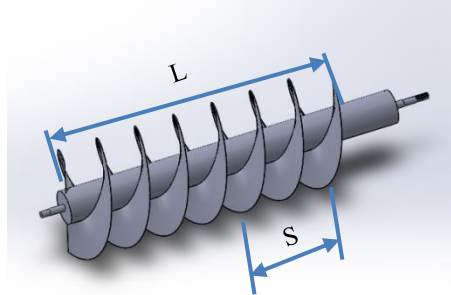
$$\sin \theta = \frac{H}{L} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana : θ = Sudut turbin ($^{\circ}$)
H = Head (m)

4. *Pitch* turbin : S (m)

Untuk menentukan nilai *pitch* turbin, terlebih dahulu harus menentukan nilai sudut turbin (θ) [2]:

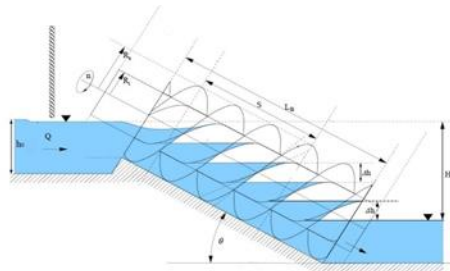
- Jika sudut turbin $\leq 30^\circ$, maka $S = 1,2 D$
 Jika sudut turbin $= 30^\circ$, maka $S = 1,0 D$
 Jika sudut turbin $\geq 30^\circ$, maka $S = 0,8 D$(6)



Gambar 6. Panjang Turbin dan Pitch Turbin

5. Jumlah ulir : Z
 $Z = \frac{L}{S}$ (7)

6. Efisiensi turbin : η



Gambar 7. Parameter Turbin Screw

$$\eta = \left(\frac{2x a + 1}{2x a + 2} \right) x \left(1 - \frac{0,01125 x D^2}{Q} \right) \dots\dots\dots(8)$$

Dimana : $a = \frac{h_0}{\Delta h}$
 $\Delta h = x \sin \theta$
 $x = \frac{1}{N} S$
 $N = \text{Jumlah blade}$

7. Daya turbin yang dihasilkan P (W) [3,4]:
 $P = \rho g Q H \eta$(9)

Berikut data yang didapat dari hasil optimasi.

Tabel 3. Optimasi Turbin Screw

No	d/D	Sudut	Efisiensi	
			N=1	N=2
1	0.3	Sudut Ulir 22° Sudut Turbin 25°	0,7009	0,7852
2		Sudut Ulir 22° Sudut Turbin 30°	0,7021	0,7865
3		Sudut Ulir 26° Sudut Turbin 25°	0,6934	0,7777
4		Sudut Ulir 26° Sudut Turbin 30°	0,6953	0,7795
5		Sudut Ulir 26° Sudut Turbin 35°	0,7033	0,7875
6		Sudut Ulir 26° Sudut Turbin 40°	0,6897	0,7739
7		Sudut Ulir 30° Sudut Turbin 30°	0,6876	0,7717
8		Sudut Ulir 30° Sudut Turbin 35°	0,6981	0,7822
9		Sudut Ulir 30° Sudut Turbin 40°	0,6845	0,7686
10		Sudut Ulir 22° Sudut Turbin 25°	0,7067	0,7905
11	0.4	Sudut Ulir 22° Sudut Turbin 30°	0,7047	0,7901
12		Sudut Ulir 26° Sudut Turbin 25°	0,6992	0,7836
13		Sudut Ulir 26° Sudut Turbin 30°	0,7000	0,7844
14		Sudut Ulir 26° Sudut Turbin 35°	0,7052	0,7894
15		Sudut Ulir 26° Sudut Turbin 40°	0,6916	0,7759
16		Sudut Ulir 30° Sudut Turbin 30°	0,6925	0,7767
17		Sudut Ulir 30° Sudut Turbin 35°	0,7011	0,7853
18		Sudut Ulir 30° Sudut Turbin 40°	0,6876	0,7717
19		Sudut Ulir 22° Sudut Turbin 25°	0,7069	0,7906
20		Sudut Ulir 22° Sudut Turbin 30°	0,7041	0,7884
21	0.5	Sudut Ulir 26° Sudut Turbin 25°	0,7021	0,7865
22		Sudut Ulir 26° Sudut Turbin 30°	0,7000	0,7844
23		Sudut Ulir 26° Sudut Turbin 35°	0,7046	0,7887
24		Sudut Ulir 26° Sudut Turbin 40°	0,6906	0,7752
25		Sudut Ulir 30° Sudut Turbin 30°	0,6953	0,7796
26		Sudut Ulir 30° Sudut Turbin 35°	0,7481	0,7948
27		Sudut Ulir 30° Sudut Turbin 40°	0,7107	0,7814
28		Sudut Ulir 22° Sudut Turbin 25°	0,7032	0,7867
29		Sudut Ulir 22° Sudut Turbin 30°	0,6998	0,7842
30		0.6	Sudut Ulir 26° Sudut Turbin 25°	0,6998
31	Sudut Ulir 26° Sudut Turbin 30°		0,6974	0,7817
32		Sudut Ulir 30° Sudut Turbin 30°	0,6930	0,7772

Hasil dari optimasi turbin air tipe *screw* diperoleh :

Tabel 4. Hasil Optimasi Turbin Screw

Perbandingan Diameter (d/D)	0,3
Sudut Ulir (α)	26°
Sudut Turbin (θ)	35°

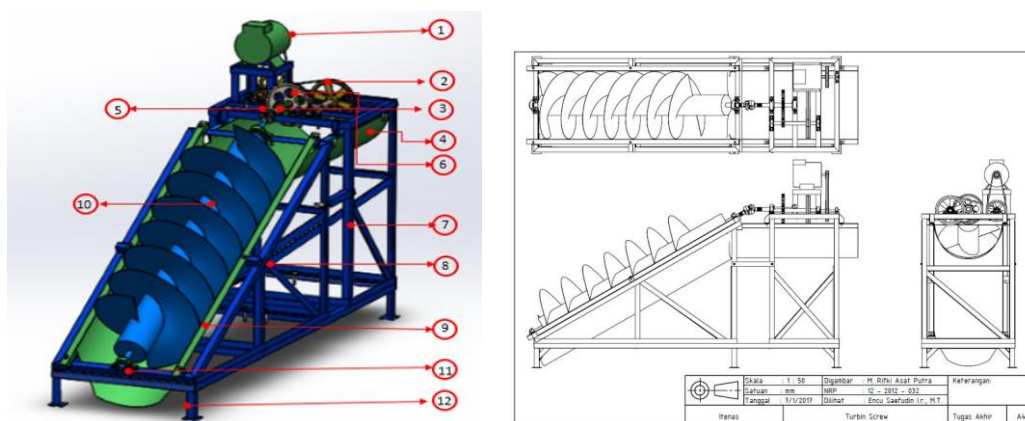
2.6. Hasil Perancangan

Hasil dari perhitungan diperoleh hasil rancangan turbin air tipe *screw* untuk pembangkit listrik skala mikrohidro yang dapat dilihat pada Tabel 5 dan gambar 2D serta 3D hasil dari rancangan.

Tabel 5. Data Sesifikasi Teknik Rancangan Turbin Air Tipe Screw

Data Hasil Rancangan Turbin Air Tipe Screw		
No.	Data	Nilai
1.	Sudut Ulir	26°
2.	Sudut Turbin	35°
3.	Kecepatan Putaran Turbin	30 rpm
4.	Diameter Turbin	726,6 mm
5.	Diameter Poros Turbin	217,9 mm
6.	Panjang Turbin	2,043 m
7.	Pitch Turbin	581,2 mm
8.	Jumlah <i>Blade</i> dan Ulir	2 buah dan 7 buah
9.	Efisiensi Turbin	78,75 %
10.	Potensi Daya Sungai	3401,22 watt
11.	Daya Turbin Hasil Rancangan	2678,35 watt
12.	Kapasitas Generator AC	3000 watt dengan putaran 1500 rpm
13.	Diameter Puli	76,2 mm, 228,6 mm dan 304,8 mm
14.	Diameter Roda Gigi Penggerak	315 mm
15.	Diameter Roda Gigi yang Digerakkan	75 mm
16.	Tebal Roda Gigi	30 mm
17.	Tipe Sabuk	A – 47 dan B – 61
18.	Diameter Poros Tingkat 1 (CD)	46 mm
19.	Diameter Poros Tingkat 2 (EF)	34 mm
20.	Diameter Poros Tingkat 3 (GH)	25 mm
21.	Perbandingan Inkrisi	4,2 : 4 : 3
21.	Kontruksi <i>Frame</i> Turbin	Baja Siku 50 x 50 mm dan 40 x 40 mm

Gambar 3D dan 2D turbin air tipe *screw* hasil rancangan ditunjukkan pada gambar 8 sebagai berikut:



Keterangan :

- | | |
|----------------------------|---------------------------------|
| 1. Generator | 8. <i>Frame</i> Sudu |
| 2. Puli dan sabuk | 9. <i>Bucket</i> Sudu |
| 3. Roda Gigi | 10. Poros <i>screw</i> |
| 4. <i>Bucket</i> Transmisi | 11. <i>Pillow Block</i> |
| 5. <i>Universal Joint</i> | 12. <i>Frame</i> dudukan Turbin |
| 6. Poros Transmisi | |
| 7. <i>Frame</i> Transmisi | |

Gambar 8. Gambar 3D dan 2D sistem turbin screw

3. REALISASI

Head pada data awal perancangan sebesar 1,05 meter didapatkan panjang turbin 1,831 meter dengan jumlah ulir 3,15. Dengan nilai jumlah ulir 3,15 maka dilakukan pembulatan nilai keatas menjadi 3,5 ulir untuk setiap *blade*-nya, sehingga panjang turbin menjadi 2,043 meter [5]. Dengan dampak energi air yang dikonversikan oleh turbin menjadi lebih besar. Transmisi tingkat satu dipilih jenis roda gigi, karena pada poros tingkat satu dengan putaran yang kecil, maka nilai T (torsi) akan besar, dengan mempertimbangkan faktor estetika dimensi karena putaran turbin yang rendah dan ingin mendapatkan dimensi turbin yang *se-compact* mungkin, maka tidak digunakan sistem transmisi puli dan sabuk. Jika tetap menggunakan sistem puli dan sabuk, dimensinya akan sangat besar dan menggunakan jenis puli tipe C dengan lebih dari dua jalur. Adapun spesifikasi material adalah sebagai berikut :

Tabel 6. Spesifikasi Material
Spesifikasi Material

Data	Material
Generator	Ac, 3000 Watt, putaran 1500 rpm
Sudu Turbin	Baja Pelat
Poros Turbin	S45C
Roda Gigi	S45C
Puli	Besi Cor
Poros Transmisi	S45C
<i>Universal Joint</i>	<i>Colt Diesel PS 100</i>
<i>Bucket</i>	Baja Pelat
<i>Pillow Block</i>	UCP 206, UCP 204, UCP 208
<i>Frame</i>	Baja Siku
Sabuk	<i>Rubber</i>

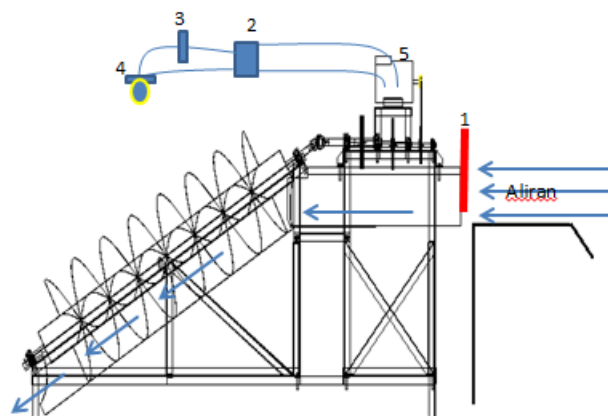
4. PEMASANGAN DAN PENGUJIAN

Pemasangan dan pengujian turbin air tipe *screw* dilaksanakan di saluran Irigasi Ciherang, Banjarn. Di koordinat (7°03'50.4"S 107°33'20.9"E). Proses pemasangan dan pengujian dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Proses Pemasangan dan Pengujian Turbin di Lokasi

Pengujian turbin air ini bertujuan untuk mengetahui prestasi turbin ulir dengan variasi debit dan beban. Prestasi tersebut meliputi daya yang tersedia, daya generator turbin dan efisiensi turbin. Skema pengujian bisa dilihat pada Gambar 10.

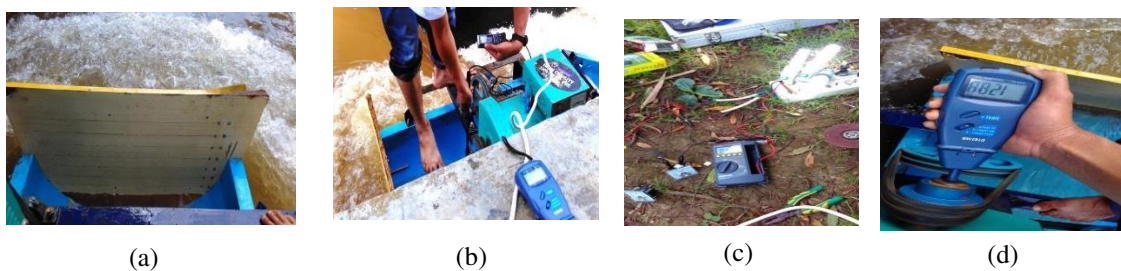


Gambar 10. Skema Pengujian

Keterangan :

1. Papan ukur
2. Voltmeter
3. Amperemeter
4. Lampu
5. Generator

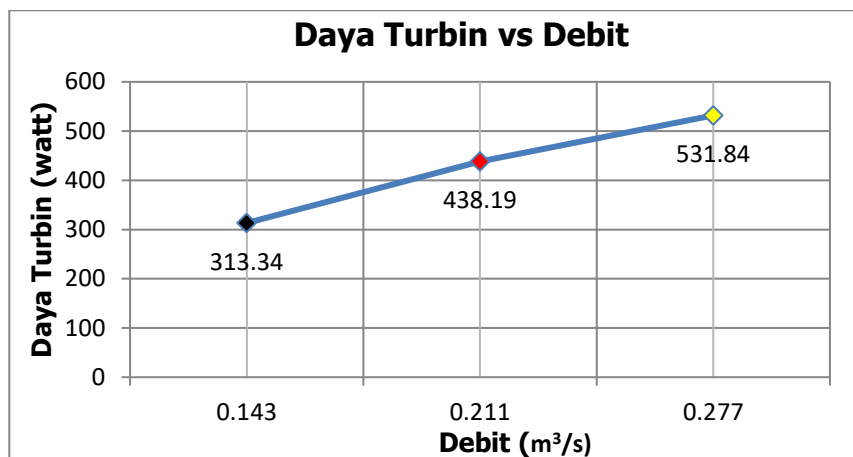
Pengaturan variasi debit yang masuk ke turbin dengan menggunakan papan ukur pada bukaan 0,15 m, 0,20 m, 0,25 m. Langkah pertama pada bukaan 0,15 m. Langkah kedua mengukur kecepatan aliran air yang masuk ke turbin dengan menggunakan *currentmeter*, langkah ketiga mengukur kecepatan turbin dan generator menggunakan *tachometer*, langkah keempat mengukur tegangan dan kuat arus yang keluar dari generator kemudian dicatat, ulangi sampai bukaan papan ukur sampai 0,25 m. Tahap pengambilan data bisa dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Proses Pengambilan Data Pengujian, (a) Buka Papan Ukur (b) Pengukuran Kecepatan Aliran, (c) Pengukuran Putaran (d) Pengukuran Arus Dan Tegangan,

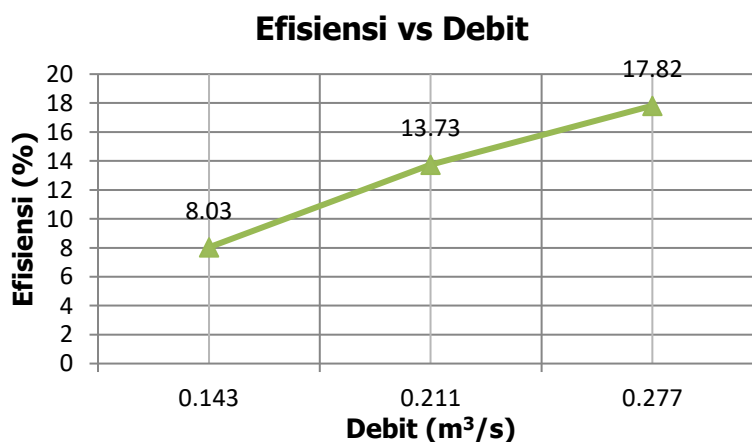
5. HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA

Berdasarkan pengujian dilakukan untuk menganalisa pengaruh debit terhadap daya. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 12. Dari Gambar 12 tersebut terlihat bahwa semakin tinggi debit daya turbin naik. Karena pengujian dibatasi hanya sampai debit 0,277 m³/s maka, daya yang dihasilkan hanya mampu 531.84 Watt. Berdasarkan data perencanaan turbin akan menghasilkan daya 3401 Watt pada debit 0,3302 m³/s. Sehingga turbin yang diuji ini mempunyai daya lebih rendah dibandingkan data perancangan. Hal ini disebabkan ada perubahan sudut sudu dibandingkan dengan rancangan. Selama turbin beroperasi banyak air tumpah keluar sudu, sehingga mempengaruhi daya maksimum turbin.



Gambar 12. Grafik Daya Turbin Vs Debit

Gambar 13 menjelaskan pengaruh efisiensi terhadap debit. Dari gambar tersebut terlihat bahwa semakin tinggi debit, efisiensinya meningkat, namun efisiensi turbin pada debit maksimum 0,277 m³/s hanya mencapai 17.82%. Berdasarkan perencanaan efisiensi turbin pada debit maksimum 0,3302 m³/s adalah 78,75%, sehingga bila dibandingkan dengan perencanaan awal, efisiensi turbin yang diuji lebih rendah. Hal ini disebabkan selain faktor kebocoran dan perubahan sudut yang disebut dalam pembahasan sebelumnya, juga disebabkan rugi-rugi transmisi sabuk cukup besar.



Gambar 13. Grafik Efisiensi Vs Debit

6. KESIMPULAN

Dan hasil pengujian menghasilkan daya maksimum dan efisiensi maksimum generator turbin adalah 521.84 *Watt* dan 17,82 % pada debit 0,277 m³/s.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dietzel, Fritz. 1990. “Turbin, Pompa dan Kompresor”, Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [2] Rorres (1987). Jurnal “*The Turn Of The Screw Optimal Design Of An Archimedes Screw*”.
- [3] Arismunandar, Wiranto. 2004, “Penggerak Mula Turbin”, Bandung: Penerbit ITB
- [4] Soedrajat S, Ir. 1983, “Mekanika Fluida dan Hidrolika”, Bandung: Penerbit NOVA
- [5] Havendri, A. dan Lius, H., 2009, “Perancangan dan Realisasi Model Prototipe Turbin Air Type *Screw* (Archimedean Turbine) untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro dengan *Head* Rendah di Indonesia”, *Jurnal Teknik*, No.31 Vol.2 Thn. XVI April 2009, ISSN: 0854-8471.