

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh [1] Rahmawaty, dkk (2021). Dengan judul “Simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD) Pada Turbin Screw Archimedes Skala Kecil” Penelitian ini membahas analisa CFD pada Turbin Screw Archimedes sehingga didapatkan efisiensi, torsi dan power yang dihasilkan oleh turbin. Hasil pengukuran tertinggi didapat pada turbin yang memiliki panjang poros 1000mm, diameter turbin 300mm, diameter shaft 50,8mm, flow rate 3,33 l/s, gap casing 5mm, memiliki 1 buah bilah, sudut kemiringan 35° dan jarak pitch 200mm. Diperoleh efisiensi optimum sebesar 50,12%, Torsi sebesar 4,83 Nm, daya mekanis sebesar 10,09 Watt dan daya hidrolis 20,13 Watt.

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh [2] Akhmad Nurdin dan Dwi Aries (2018). Dengan judul “Kajian Teoritis Uji Kerja Turbin Archimedes Screw Pada Head Rendah” penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui kinerja turbin Archimedes Screw oleh beberapa parameter seperti tingkat rendaman turbin, sudut kemiringan turbin, pitch ratio dan jumlah sudu. Pada parameter tingkat rendaman turbin, apabila rendaman berada diatas optimal air akan berusaha masuk kembali kedalam bucket yang menyebabkan penurunan performa turbin. Pada parameter kemiringan sudut turbin, penggunaan sudut turbin yang besar dapat menurunkan daya dan efisiensi turbin, hal ini disebabkan karena air mulai keluar dari jalur kanal bucket sehingga mengurangi volume air pada bucket. Selanjutnya pada parameter pitch ratio, semakin tinggi pitch ratio maka nilai torsi yang dihasilkan akan meningkat, hal ini disebabkan pada pitch ratio yang besar maka jumlah kisi (ruang antar blade) semakin sedikit / renggang sehingga volume air yang dapat ditampung tiap kisi menjadi banyak dan maksimal. Terakhir yaitu parameter jumlah sudu, semakin banyak jumlah sudu yang digunakan akan menurunkan torsi yang dihasilkan, hal ini disebabkan volume bucket pada sudu / blade yang semakin berkurang, sehingga performa turbin akan menurun.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh [3] Edis Sudioanto Sihombing (2009). Dengan judul “Pengujian Sudu Lengkung Prototipe Turbin Air Terapung

Pada Aliran Sungai” memiliki tujuan untuk mengetahui daya yang dapat dihasilkan oleh prototipe turbin air terapung menggunakan model sudu lengkung dengan memanfaatkan arus aliran sungai Namu Sira-Sira yang memiliki kecepatan air 1,75 m/s, sungai ini terletak di Kecamatan Sei Bingai, Kabupaten Langkat. Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah daya yang dihasilkan turbin sebesar 125,97 Watt, efisiensi turbin sebesar 57%, putaran turbin sebesar 29 rpm pada turbin dan 1088 rpm pada alternator, efisiensi alternator sebesar 35%. Adapun hal yang menjadi pertimbangan untuk penelitian selanjutnya yaitu semakin besar pembebanan pada turbin maka putaran akan berkurang dan juga pengisian daya ke baterai ikut berkurang, semakin besar putaran poros alternator maka momen puntir yang terjadi pada poros alternator akan berkurang dan hambatan kabel berpengaruh pada daya yang dihasilkan turbin.

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh [4] Muhammad Wildan Nur Karim, dkk (2021). Dengan judul “Kajian kemiringan blade dan head turbin archimedes screw terhadap daya keluaran generator ac 1 phase 3 kw” pada penelitian ini mendapatkan hasil blade turbin dengan kemiringan 28° adalah yang paling efisien, sedangkan kemiringan head yang paling efisien adalah 40° dengan debit air $0,4901 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan tinggi terjun sebesar 5 meter. Didapatkan potensi daya sebesar 13,556 kw, sedangkan daya nyata maksimal yang dapat dibangkitkan dari generator 1 fasa 3kw yang terpasang adalah 1050 watt.

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh [5] I Gede Widnyana Putra, Antonius Ibi Weking dan Lie Jasa (2018). Dengan judul “Analisa pengaruh tekanan air terhadap kinerja PLTMH dengan menggunakan turbin archimedes screw” pada penelitian ini mendapatkan hasil torsi, tegangan, arus, daya dan efisiensi meningkat ketika diberikan tekanan air yang lebih tinggi, pengukuran tertinggi didapat pada tekanan 24 psi menghasilkan torsi 0,73nm, tegangan 85,8 volt, arus 0,1963 ampere, daya 16,85 watt dan efisiensi sebesar 18,1%.

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh [6] Yudi Setiawan, dkk (2021). Dengan judul “Kinerja putaran rotor turbin air screw archimedes dengan variasi kemiringan sudut turbin” pada penelitian ini mendapatkan hasil ketika turbin menggunakan sudut kemiringan yang tinggi maka rpm yang didapat akan semakin tinggi, dengan debit 7 liter/detik kinerja terbaik didapat pada turbin kemiringan

sudut 40° menghasilkan 930 rpm dengan potensi daya listrik 43,95 watt.

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh [7] Juniarko Prananda, Eddy S. Koenhardono dan Noerendik F. Farhan (2021). Dengan judul “Performance analysis of screw turbine design with additional flaps modification using computational fluid dynamics method” mendapatkan hasil performa blade dengan desain penambahan flap sebesar 3cm dan kemiringan flap 30° menghasilkan torsi sebesar 0,00609nm dan putaran 12,55 rad/s.

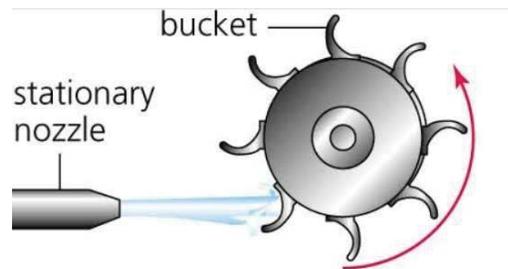
Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh [8] Agung Dwi Nugroho dan Dwi Aries Himawanto (2017). Dengan judul “Kajian teoritik pengaruh geometri dan sudut kemiringan terhadap kinerja turbin archimedes screw” dari penelitian ini didapatkan turbin dengan diameter luar 0,055m dan diameter dalam 0,30m dan kemiringan 45° menghasilkan daya poros sebesar 5,11 watt pada putaran 50 rpm yang mana menaikkan efisiensi turbin hingga 89%.

Adapun letak kesamaan penelitian ini dengan penelitian-penelitian sebelumnya yaitu terletak pada jenis turbin air yang sama yaitu turbin air Archimedes Screw sebagai pembangkit listrik berskala kecil dan menggunakan cara analisis berbasis program / software CFD (Computational Fluid Dynamic) untuk mengetahui efisiensi turbin Archimedes Screw. Sedangkan perbedaannya adalah pada penelitian ini menggunakan turbin Archimedes Screw yang dapat digunakan secara terapung di sungai sehingga dapat digunakan di sungai kecil maupun besar tanpa menghambat keseluruhan lebar aliran sungai dan juga turbin dapat memiliki opsi peletakan tanpa memiliki sudut kemiringan turbin.

2.2 Turbin Air

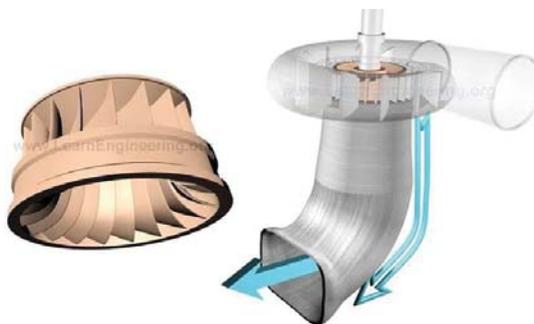
Turbin air adalah turbin dengan media kerja air, secara umum turbin adalah alat mekanik yang terdiri dari poros dan sudu-sudu. Sudu tetap atau stationary blade, tidak ikut berputar bersama poros dan berfungsi mengarahkan aliran fluida. Sedangkan sudu putar atau rotary blade, mengubah arah dan kecepatan aliran fluida sehingga timbul gaya yang memutar poros. Turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin implus dan turbin reaksi. Berikut ini merupakan klasifikasi berbagai jenis turbin air yang digunakan dalam pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) :

1. Turbin impuls adalah turbin tekanan sama karena aliran air yang keluar dari nosel tekanannya adalah sama dengan tekanan atmosfer sekitarnya. Energi potensial yang dimiliki air dikonversi menjadi energi kinetik dan masuk melalui nosel. Air yang keluar dari nosel yang mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (*impulse*). Jenis turbin impuls diantaranya yaitu : Turbin Pelton, Turbin Turgo, Turbin Cross Flow.



Gambar 2.1 Turbin impuls

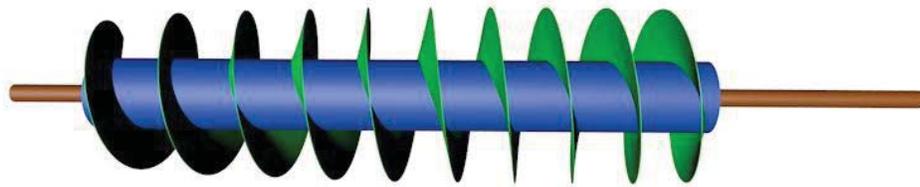
2. Turbin reaksi adalah turbin reaksi mempunyai profil khusus pada sudu yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga runner (bagian turbin yang berputar) dapat berputar. Turbin yang bekerja berdasarkan prinsip ini dikelompokkan sebagai jenis turbin reaksi diantaranya yaitu : Turbin Francis, Turbin Kaplan.



Gambar 2.2 Turbin Reaksi

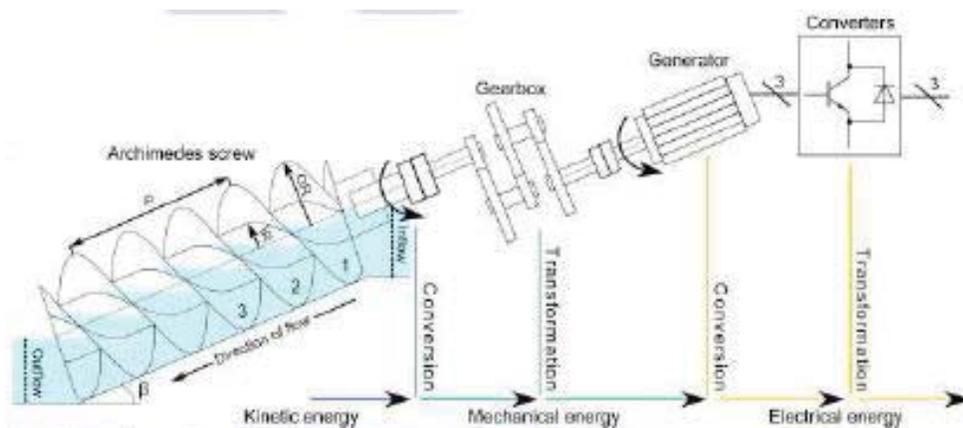
2.3 Turbin *Archimedes Screw*

Archimedes screw adalah salah satu mesin tertua yang masih digunakan dan berfungsi mengangkat air untuk irigasi dan drainase. Turbin ulir berasal dari konsep kuno oleh ahli matematika dan fisika Archimedes (287 – 212 SM). Sekrup Archimedes terdiri dari permukaan heliks yang mengelilingi poros silindris pusat di dalam pipa berongga seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Turbin *Archimedes Screw*

Ketika digunakan sebagai pompa, sekrup biasanya diputar oleh generator atau tenaga kerja manual. Ketika poros berputar, ujung bawah menggulung volume air yang disebut sebagai bucket. Air ini akan meluncur ke dalam tabung spiral saat sekrup berputar, sampai akhirnya mengalir keluar dari bagian atas sekrup. Pompa sekrup digunakan terutama untuk mengalirkan air keluar dari tambang atau area lain dari air yang rendah.



Gambar 2.4 Skema turbin *Archimedes screw*

Selain dikenal dengan turbin ulir, sesuai dengan konseptor awalnya, turbin ini juga disebut sekrup Archimedes (*Archimedes screw*). Turbin ulir lebih cocok dipakai untuk tinggi tenaga (*head*) rendah atau beda elevasi antara hulu dan hilir aliran rendah bahkan nol. Turbin *Archimedes screw* dapat digunakan di situs hidro air rendah sebagai sarana menghasilkan listrik. Ini dilakukan dengan menjalankan sekrup Archimedes secara terbalik, yaitu menjatuhkan air dari atas dan membiarkan sekrup berputar ketika air turun. Ini adalah cara yang ekonomis dan efisien untuk menghasilkan listrik dari aliran kecil. Sekrup berputar dan menghasilkan listrik karena tekanan hidrostatik dari air pada permukaan sekrup. Saat air mengisi sekrup dari saluran masuk di bagian atas lereng, tekanan pada bidang heliks sekrup memungkinkan untuk rotasi sekrup. Prinsip kerja turbin *Archimedes screw* ini yaitu, air dari ujung atas mengalir masuk ke ruang di antara kisar blade screw (*bucket*) dan keluar dari ujung bawah. Sehingga menimbulkan gaya berat air dan beda tekanan hidrostatik dalam bucket di sepanjang rotor mendorong blade screw dan memutar rotor pada sumbunya. Kemudian rotor turbin memutar generator listrik yang disambungkan dengan ujung atas poros turbin screw.

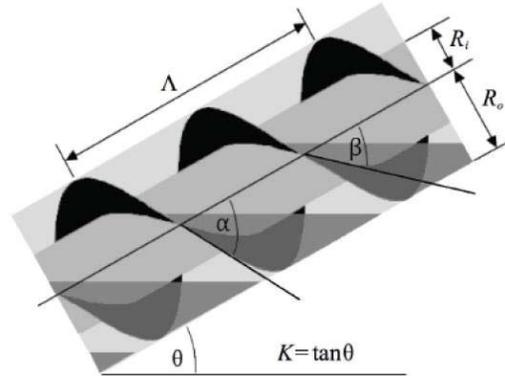
2.4 Kelebihan turbin *Archimedes screw*

Adapun kelebihan yang dimiliki oleh turbin *Archimedes screw* dibandingkan dengan jenis turbin lain yaitu sebagai berikut :

1. Baik dikembangkan pada daerah yang memiliki sumber air dengan debit yang cukup besar (sungai) namun hanya memiliki head yang rendah.
2. Tidak memerlukan sistem kontrol yang sangat rumit seperti turbin lainnya.
3. Tekanan air yang terjadi pada turbin tidak merusak ekologi dalam hal ini dampak terhadap makhluk hidup air (ikan).
4. Tidak membutuhkan draft tube, sehingga dapat mengurangi pengeluaran untuk penggalan pemasangan draft tube.
5. Memiliki efisiensi yang tinggi, dengan variasi debit yang besar dan sangat baik untuk debit air yang kecil.
6. Tidak memerlukan jaring-jaring halus sebagai pencegah masuknya puing - puing kedalam turbin, sehingga dapat mengurangi biaya perawatan.

2.5 Parameter Turbin Archimedes Screw

Dalam merancang sebuah turbin *Archimedes screw* diperlukan parameter-parameter agar mendapatkan desain yang optimal, berikut parameter dan persamaan yang diperlukan untuk menentukan geometri turbin.



Gambar 2.5 Parameter yang diperlukan untuk menentukan geometri turbin *Archimedes screw*.

Tabel 2.1 Parameter rasio optimal Archimedes screw untuk berbagai jumlah bilah.

Number of blades N (1)	Optimal radius ratio ρ^* (2)	Optimal pitch ratio λ^* (3)	Optimal volume-per-turbine ratio $\lambda^* \nu(N, \rho^*, \lambda^*)$ (4)	Optimal volume ratio $\nu(N, \rho^*, \lambda^*)$ (5)
1	0.5358	0.1285	0.0361	0.2811
2	0.5369	0.1863	0.0512	0.2747
3	0.5357	0.2217	0.0598	0.2697
4	0.5353	0.2456	0.0655	0.2667
5	0.5352	0.2630	0.0696	0.2647
6	0.5353	0.2763	0.0727	0.2631
7	0.5354	0.2869	0.0752	0.2619
8	0.5354	0.2957	0.0771	0.2609
9	0.5356	0.3029	0.0788	0.2601
10	0.5356	0.3092	0.0802	0.2592
11	0.5358	0.3145	0.0813	0.2586
12	0.5360	0.3193	0.0824	0.2580
13	0.5360	0.3234	0.0833	0.2574
14	0.5360	0.3270	0.0841	0.2571
15	0.5364	0.3303	0.0848	0.2567
16	0.5362	0.3333	0.0854	0.2562
17	0.5362	0.3364	0.0860	0.2556
18	0.5368	0.3380	0.0865	0.2559
19	0.5364	0.3404	0.0870	0.2555
20	0.5365	0.3426	0.0874	0.2551
21	0.5370	0.3440	0.0878	0.2553
22	0.5365	0.3465	0.0882	0.2544
23	0.5369	0.3481	0.0885	0.2543
24	0.5367	0.3500	0.0888	0.2538
25	0.5371	0.3507	0.0891	0.2542
.
.
.
∞	0.5394	0.3953	0.0977	0.2471

$$R_i = \rho \cdot R_o \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\Lambda = \frac{2\pi R_o \lambda}{K} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

Λ = Pitch ulir

R_i = Jari-jari poros turbin

R_o = Jari-jari blade turbin

K = Kemiringan turbin (tan . derajat kemiringan turbin)

θ = Kemiringan turbin

α = Kemiringan blade luar terhadap poros

β = Kemiringan blade dalam terhadap poros

2.6 Debit dan kecepatan aliran air

Debit air adalah besaran yang menyatakan banyaknya air yang mengalir selama satu waktu yang melewati suatu penampang luas, pengujian debit air bertujuan untuk mengetahui seberapa banyak air yang mengalir dalam satuan volume per satuan waktu. Sedangkan kecepatan aliran air adalah kecepatan air dalam aliran yang dihitung perdetiknya mendapatkan jarak seberapa jauh, untuk menghitung kecepatan aliran air dapat menggunakan alat current meter, namun dapat juga dilakukan secara manual menggunakan pelampung ringan dan stopwatch untuk mengukur seberapa jauh jarak pelampung dari titik awal per detiknya. Untuk nilai debit air, dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Debit} = \frac{\text{Volume bejana}}{\text{Waktu untuk memenuhi bejana}} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$V = Q \times t \dots\dots\dots (2.4)$$

$$t = \frac{V}{Q} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$Q = \frac{V}{t} \dots\dots\dots (2.6)$$

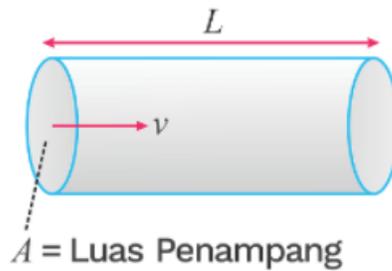
Keterangan :

V = Volume

t = Waktu

Q = Debit

Namun dapat juga menggunakan persamaan yang melibatkan kecepatan aliran air, seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.6 Ilustrasi gambar rumus volume

$$V = A \times L \dots\dots\dots (2.7)$$

$$Q = V/t = AL/t = A(v.t)/t \dots\dots\dots (2.8)$$

$$Q = A \times v \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

V = volume penampang / air yang mengalir (m³)

A = luas penampang (m²)

L = panjang penampang / pipa (m)

v = kecepatan aliran air (m/s)

t = waktu / 3600 sekon

2.7 Daya Hidrolis

Daya hidrolis adalah daya yang dihasilkan oleh air yang mengalir dari suatu ketinggian. Dalam hal ini daya hidrolis diperoleh dari daya air yang dihasilkan, menggunakan persamaan 2.10 :

$$P_H = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h \dots \dots \dots (2.10)$$

Keterangan :

P_H = Daya hidrolis (Watt)

ρ = Massa jenis fluida/air (kg/m^3)

Q = Debit air (m^3/s)

g = Gaya gravitasi (m/s^2)

h = Head atau tinggi air jatuh (m)

2.8 Daya Turbin

Daya turbin adalah daya yang dihasilkan oleh turbin yang diberi daya potensial, daya turbin dapat diperoleh dengan persamaan 2.11 :

$$P_T = T \cdot \omega \dots \dots \dots (2.11)$$

Keterangan :

P_T = daya turbin (Watt)

ω = putaran turbin (Rad/s)

T = torsi (Nm)

2.9 Efisiensi

Efisiensi sistem (η) adalah kemampuan peralatan pembangkit untuk mengubah energi kinetik dari air yang mengalir menjadi energi listrik. Untuk menghitung efisiensi dapat digunakan persamaan 2.12 sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P_T}{P_H} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan :

η = efisiensi

P_T = daya turbin (Watt)

P_H = daya hidrolis (Watt)

2.10 Torsi

Momen gaya (torsi) adalah sebuah besaran yang menyatakan besarnya gaya yang bekerja pada sebuah benda sehingga mengakibatkan benda tersebut berotasi. Untuk menghitung torsi dapat menggunakan persamaan 2.13 berikut :

$$T = \frac{P}{2\pi \frac{n}{60}} \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan :

T = Torsi (Nm)

P = Daya (kW)

n = Kecepatan putaran (rpm)