

THESIS

**KARAKTERISTIK KINERJA TURBIN AIR MODEL
ARCHIMEDES SCREW**

**PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF ARCHIMEDES
SCREW MODEL WATER TURBINE**



OLEH :

YULIANUS PALILING

D022201004

**PROGRAM STUDI S2
TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN**KARAKTERISTIK KINERJA TURBIN AIR MODEL ARCHIMEDES SCREW**

Disusun dan diajukan oleh

YULIANUS PALILING

D022201004

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka

Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 19 November 2024

Menyetujui

Komisi Penasehat,

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin Salam, M.T.
NIP. 195912201986011001

Pembimbing Pendamping



Prof. Dr. Rustan Tarakka, S.T., M.T.
NIP. 197508272005011002

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



**Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Irsan
Ramli, S.T., M.T., IPM., ASEAN. Eng**
NIP. 197309262000121002

Ketua Program Studi
Magister Teknik Mesin



Dr. Eng. Novriany Amaliyah, S.T., M.T.
NIP. 197911122008122002

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Yulianus Paliling

Nomor mahasiswa : D022201004

Program studi : S2 Teknik Mesin

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul “KARAKTERISTIK KINERJA TURBIN AIR MODEL ARCHIMEDES SCREW” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin Salam, M.T dan Prof. Dr. Rustan Tarakka, S.T., M.T). Karya ilmiah ini belum diajukan dan sedang tidak diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari tesis ini telah dipublikasikan di jurnal “*The International Conference on Research in Engineering Science Technology (IC-REST)*” sebagai artikel dengan judul “*The Effect of Load on the Characteristics of an Archimedes Screw Turbine in a Closed Channel*”

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 22 November 2024
Yang menyatakan



Yulianus Paliling

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas kasih, anugerah serta penyertaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini tepat pada waktunya.

Penyusunan tesis ini penulis susun dalam rangka untuk menyelesaikan tesis yang merupakan salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi pada program magister di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Terima kasih kami ucapkan kepada mereka yang telah memberikan bantuan baik materi maupun moral, sehingga berkat bantuannyalah setiap kendala yang kami alami dalam penyusunan tesis dapat terselesaikan. Untuk itu dengan segala rasa hormat, penulis ucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin Salam, M.T, sebagai pembimbing utama dan Prof. Dr. Rustan Tarakka, S.T., M.T, sebagai pembimbing pendamping. Yang telah dengan penuh kesabaran dan ketulusan memberikan ilmu dan bimbingan terbaik kepada penulis.
2. Prof. Dr. Ir. Luther Sule, M.T, Prof. Dr.Eng. Ir. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT, Prof. Dr.Eng. Ir. Jalaluddin, ST., MT, sebagai komisi tim penguji. Telah memberikan masukan dan saran sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik.
3. Kedua orang tua, saudara-saudara, serta seluruh keluarga atas dorongan, bimbingan, nasehat, serta doa restu selama menjalani pendidikan.
4. Rektor universitas Hasanuddin dan Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memfasilitasi saya menempuh program magister serta para dosen dan rekan-rekan dalam tim penelitian.
5. Bapak Afrison atas segala bentuk bantuan yang telah diberikan dalam pengerjaan instalasi alat uji serta penggunaan fasilitas dan peralatan di Laboratorium Mekanika Fluida Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.

6. Para karyawati program studi magister Teknik Mesin Universitas Hasanuddin yang telah membantu penulis dalam proses administrasi.
7. Kepada mahasiswa S1 dan S2 Teknik Mesin Universitas Hasanuddin, penulis ucapkan terima kasih atas bantuan yang telah dilakukan dari awal persiapan pembuatan instalasi alat penelitian hingga dengan selesainya alat instalasi penelitian tersebut.
8. Teman-teman yang telah memberikan dukungan, semangat dan doa yang tulus baik secara moril kepada penulis.

Penulis telah berusaha semaksimal mungkin agar tesis ini dapat terselesaikan dengan baik, namun keterbatasan dan kemampuan sehingga tesis ini tampil dengan segala kekurangannya. Oleh karena itu, penulis senantiasa membuka diri atas kritik dan saran yang bertujuan untuk menyempurnakan tesis ini. Akhir kata semoga tesis ini bermanfaat kedepannya, sekian dan terima kasih.

Penulis



Yulianus Paliling

ABSTRAK

Yulianus Paliling, Karakteristik Kinerja Turbin Air Model Archimedes Screw
(dibimbing oleh **Nasaruddin salam dan Rustan Tarakka**)

Turbin Archimedes juga dikenal sebagai salah satu turbin yang ramah lingkungan dikarenakan ikan dan belut dapat melewatinya tanpa cedera walaupun turbin sedang beroperasi dikarenakan putaran turbin Archimedes pada kecepatan rendah. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik debit Air dan daya turbin terhadap kinerja turbin air model Archimedes screw serta Menentukan efisiensi turbin terhadap kinerja turbin air model Archimedes screw. Objek penelitian ini adalah metode eksperimen dengan karakteristik turbin air model Archimedes screw pada tiga objek yang berbeda tingkat kemiringan sudu diantaranya 18° , 23° dan 28° dengan 5 tingkatan putaran konstan yaitu 200, 300, 400, 500 dan 600 rpm. Serta beban yang diberikan yaitu 100, 200, 300, 400 dan 500 gram. Adapun ukuran dari masing-masing sudut kemiringan sudu turbin yaitu Panjang turbin 250 cm diameter dalam 22 mm, diameter luar 79 mm. Pada ketiga objek turbin ulir Archimedes kemudian dimasukkan kedalam pipa secara bergantian dengan ukuran diameter luar 89 mm dan diameter dalam 82,2 mm. Panjang poros turbin 700 mm, dengan diameter 6 mm. lalu pada ujung poros diberikan pulley dengan diameter 17 mm yang mana pada puli akan dipasangkan beban bertingkat. Berdasarkan hasil penelitian, pengaruh debit air pada tiap variasi sudut kemiringan sudu, debit air yang dihasilkan turbin Archimedes berada pada sudut kemiringan 18° sebesar $0,0088 \text{ m}^3/\text{s}$. pengaruh daya turbin terhadap karakteristik turbin Archimedes screw terlihat bahwa pada masing-masing sudut kemiringan sudu menghasilkan daya optimum pada putaran 600 rpm dengan beban 500 gram yaitu daya optimum yang dihasilkan 2,618 watt. Dari ketiga variasi sudut kemiringan sudu turbin dengan putaran konstan pada 5 tingkatan pembebanan menunjukkan bahwa sudut 18° memiliki efisiensi turbin optimum 34,386 %.

Kata Kunci : Archimedes Screw, daya turbin, debit air, efisiensi turbin, Pembangkit Listrik Tenaga Pico Hidro

ABSTRACT

Yulianus Paliling, Performance Characteristics of Archimedes Screw Model Water Turbine (supervised by **Nasaruddin salam and Rustan Tarakka**)

The Archimedes turbine is also known as one of the environmentally friendly turbines because fish and eels can pass through without injury even though the turbine is operating due to the rotation of the Archimedes turbine at low speed. This research aims to analyse the characteristics of water discharge and turbine power on the performance of the Archimedes screw model water turbine and determine the turbine efficiency on the performance of the Archimedes screw model water turbine. The object of this research is an experimental method with the characteristics of the Archimedes screw model water turbine on three objects with different levels of blade tilt including 18° , 23° and 28° with 5 levels of constant rotation, namely 200, 300, 400, 500 and 600 rpm. And the load given is 100, 200, 300, 400 and 500 grams. The size of each turbine blade inclination angle is 250 cm turbine length, 22 mm inner diameter, 79 mm outer diameter. In all three objects, the Archimedes screw turbine is then inserted into the pipe alternately with an outer diameter of 89 mm and an inner diameter of 82.2 mm. The length of the turbine shaft is 700 mm, with a diameter of 6 mm. then at the end of the shaft is given a pulley with a diameter of 17 mm which on the pulley will be paired with a multilevel load. Based on the results of the study, the effect of water discharge on each variation of the angle of inclination of the blade, the water discharge generated by the Archimedes turbine is at an angle of inclination 18° of 0.0088 m³ / s. The effect of turbine power on the characteristics of the Archimedes screw turbine shows that at each angle of inclination of the blade produces optimum power at 600 rpm with a load of 500 grams, namely the optimum power generated is 2.618 watts. Of the three variations of turbine blade tilt angle with constant rotation at 5 levels of loading shows that the angle 18° has an optimum turbine efficiency of 34.386%.

Keywords: Archimedes Screw, turbine power, water discharge, turbine efficiency, Pico Hydro Power Plant

DAFTAR ISI

	Halaman
THESIS.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viiiiv
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	5
1.4. Batasan Masalah.....	5
1.5. Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Turbin air	7
2.2. Turbin ulir (Archimedes screw)	9
2.3. Pembangkit listrik tenaga air	12
2.4. Prinsip dasar pembangkit listrik tenaga pico hidro (PLTPH).....	14
2.5. Pipa shipon	14
2.6. Segitiga kecepatan.....	16
2.7. Karakteristik turbin air	17
2.1.1. Debit.....	17
2.1.2. Kecepatan aliran air.....	18
2.1.3. Daya air	18
2.1.4. Torsi.....	19
2.1.5. Kecepatan sudut	19

2.1.6. Daya turbin.....	20
2.1.7. Efisiensi turbin	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	22
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	22
3.2. Objek penelitian	22
3.3. Parameter pengujian	28
3.1.1. Proses pembuatan ulir turbin archimedes	28
3.1.2. Uji putaran turbin <i>Archimedes screw</i>	28
3.4. Prosedur pengambilan data	29
3.5. Diagram Alir Penelitian.....	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1. Analisis data penellitian	31
4.2. Hubungan daya turbin dengan efisiensi pada sudut kemiringan sudu 18° .	34
4.3. Hubungan daya turbin dengan efisiensi pada sudut kemiringan sudu 23°.	36
4.4. Hubungan daya turbin dengan efisiensi pada sudut kemiringan sudu 28°.	37
4.5. Hubungan daya turbin dengan efisiensi maksimum pada putaran 200 rpm...	39
4.6. Hubungan daya turbin dengan efisiensi maksimum pada putaran 400 rpm	40
4.7. Hubungan daya turbin dengan efisiensi maksimum pada putaran 600 rpm	41
4.8. Hubungan variasi sudut kemiringan sudu terhadap debit air	42
4.9. Hubungan variasi sudut kemiringan sudu terhadap daya turbin	44
4.10. Hubungan variasi sudut kemiringan sudu terhadap efisiensi turbin	45
BAB V	46
PENUTUP	46
5.1. Kesimpulan.....	46
5.2. Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA.....	48
LAMPIRAN.....	52

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Jenis-jenis pembangkit listrik	13
Tabel 2. Efisiensi maksimum sudut kemiringan sudu 18°	35
Tabel 3. Efisiensi maksimum sudut kemiringan sudu 23°	36
Tabel 4. Efisiensi maksimum sudut kemiringan sudu 28°	38
Tabel 5. Efisiensi maksimum pada putaran 200 rpm.....	39
Tabel 6. Efisiensi maksimum pada putaran 400 rpm.....	40
Tabel 7. Efisiensi maksimum pada putaran 600 rpm.....	42

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Jenis-jenis turbin	8
Gambar 2. Pompa Archimedes Screw pada jaman kuno(Lee & Lee, 2021)	12
Gambar 3. Pipa shipon (Luthfie, 2017)	15
Gambar 4. Skema segitiga kecepatan pada bilah (Syarafina et al., 2020).	17
Gambar 5. Tubin ulir archimedes dengan sudut kemiringan sudu 18°	23
Gambar 6. Tubin ulir archimedes dengan sudut kemiringan sudu 23°	24
Gambar 7. Tubin ulir archimedes dengan sudut kemiringan sudu 28°	25
Gambar 8. Skema turbin Archimedes screw pada saluran tertutup	26
Gambar 9. Instalasi alat pengujian Tubin Ulir Archimedes	27
Gambar 10. Diagram alir penelitian	30
Gambar 11. Hubungan efisiensi turbin dengan daya turbin pada tiap tingkatan variasi putaran turbin untuk sudut kemiringan sudu 18°	35
Gambar 12. Hubungan efisiensi turbin dengan daya turbin pada tiap tingkatan variasi putaran turbin untuk sudut kemiringan sudu 23°	37
Gambar 13. Hubungan efisiensi turbin dengan daya turbin pada tiap tingkatan variasi putaran turbin untuk sudut kemiringan sudu 28°	38
Gambar 14. Hubungan efisiensi turbin dengan daya turbin pada tiap tingkatan variasi sudut turbin untuk putaran 200 rpm	39
Gambar 15. Hubungan efisiensi turbin dengan daya turbin pada tiap tingkatan variasi sudut turbin untuk putaran 400 rpm	41
Gambar 16. Hubungan efisiensi turbin dengan daya turbin pada tiap tingkatan variasi sudut turbin untuk putaran 600 rpm	42
Gambar 17. Hubungan antara variasi sudut sudu terhadap debit air	43
Gambar 18. Hubungan antaran variasi sudut sudu terhadap daya turbin	44
Gambar 19. Hubungan antara variasi sudut sudu terhadap efisiensi turbin	45

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan		Arti dan Keterangan
Q	=	<i>Water flow discharge (m³/s)</i>
V	=	<i>Volume of water (m³)</i>
t	=	<i>Secound (S)</i>
N_a	=	<i>Water power (watt)</i>
ρ	=	<i>Density of water (kg/m³)</i>
v	=	<i>Water of velocity (m/s)</i>
τ	=	<i>Torque (N.m)</i>
r	=	<i>ratio pulley (m)</i>
ω	=	<i>Angular of velocity (rad/s)</i>
N	=	<i>Rotation speed (rpm)</i>
N_T	=	<i>Turbine Power (watts)</i>
η_τ	=	<i>Turbine Efficiency (%)</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang mana memiliki sumber daya yang sangat berlimpah serta dapat dimanfaatkan dari berbagai sumber energi serta kelangsungan hidup makhluk hidup. Energi sangat penting dan dibutuhkan dalam keberlangsungan hidup. Banyak sumber energi saat ini telah dimanfaatkan di Indonesia diantaranya energi fosil batubara, minyak bumi, dan gas alam. Namun kesediaan energi tersebut semakin menipis. Untuk mengatasi hal tersebut energi baru terbarukan (EBT) dapat dimanfaatkan sebagai alternatif. Energi Baru Terbarukan yang dapat digunakan sebagai alternatif diantaranya yaitu energi air, angin, matahari dan panas bumi (Sriwijaya & Kinetika, 2019). Energi terbarukan dapat diharapkan menjadi peranan penting dalam dalam membarui energi yang tidak dapat diperbarui lagi (Birahmatih et al., 2021). Dalam mencapai masa depan energi yang benar-benar berkelanjutan, peningkatan pemanfaatan sumber daya terbarukan sangat diperlukan diantaranya dalam pembangkit listrik. Tenaga air merupakan sumber energi utama diseluruh dunia dan paling seringa digunakan baik dalam skala kecil maupun besar (Rohmer et al., 2016).

Tenaga air di seluruh Dunia sangat banyak yang belum dimanfaatkan baik itu secara mikro ataupun pikohidro dari hulu atau irigasi. Negara berkembang seperti Indonesia secara khusus, pembangkit micro hidro yang dimanfaatkan hanya sekitar 1,8% dari potensi yang dimiliki 400 MW(Erinofiardi et al., 2017)

Tenaga air saat ini banyak digunakan dikarenakan energi air fleksibel dan andal. Namun energi air memiliki kekurangan yang mana dapat mengganggu habitat dari satwa liar dikarenakan instalasi yang digunakan sangat besar, dapat membanjiri area yang dihuni, serta rotasi putaran yang sangat tinggi(Bouvant et al., 2021). Saat ini pemerintah mulai mendukung dalam bidang sumber daya air dalam memenuhi kebutuhan yaitu dengan penyediaan tenaga listrik dari energi terbarukan. Hal ini

dilakukan dalam mengoptimalkan kapasitas sumber daya air seperti waduk, bendungan, dan saluran irigasi, sehingga kerja sama dari pihak swasta sangat dibutuhkan dalam pemanfaatan sarana yang ada (Putu Wahyu Indra Wedanta et al., 2021).

Dalam pengembangan sektor energi air salah satu pilihan yang dapat digunakan yaitu pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dan Pembangkit Listrik Tenaga Pico Hidro (PLTPH) di daerah yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik PLN. Pembanguna PLTMH DAN PLTPH sangat diharapkan dapat menghasilkan tenaga listrik yang murah serta ramah lingkungan, dan tidak memerlukan relokasi masyarakat karena pembuatan waduk atau bendungan. (T. M. Syahputra et al., 2017).

Komponen yang terpenting dalam pembangkit listrik mikrohidro salah satunya adalah turbin. (Putra et al., 2018). Turbin air menggunakan energi potensial air untuk menghasilkan energi mekanik melalui putaran poros. Lalu kemudian diubah menjadi energi listrik. Turbin air terdiri dari generator, air (sumber energi), dan turbin. Jenis dan dimensi turbin dalam perancangan sangat tergantung pada kondisi head dan kapasitas yang tersedia. Untuk mengoptimalkan efisiensi turbin air yang beroperasi di tempat tertentu akan memiliki desain yang berbeda dalam hal jenis dan dimensi daripada yang beroperasi ditempat lain (Sofyan et al., 2021).

Ada beberapa jenis turbin yang dapat digunakan dalam pembangkit listrik mikrohidro diantaranya yaitu turbin Archimedes Screw. Turbin Archimedes Screw merupakan turbin yang diambil dari teori Archimedean Screw. (Saroinsong et al., 2017). Archimedes screw juga dikenal sebagai salah satu mesin hidrolik paling awal (Archimedean atau sekrup hidrodinamik) (Yoosefdoost & Lubitz, 2021a). Turbin Archimedes juga dikenal sebagai salah satu turbin yang ramah lingkungan dikarenakan ikan dan belut dapat melewatinya tanpa cedera walaupun turbin sedang beroperasi dikarenakan putaran turbin Archimedes pada kecepatan rendah (Erinofiardi et al., 2017).

Turbin Archimedes screw digunakan di lebih dari 400 fasilitas diseluruh dunia, sebagian besar dalam situasi aliran air yang rendah ($<5\text{m}$) dan berbagai kondisi debit air. Turbin ini terdiri dari 2-5 bilah spiral disekitar poros tengah yang terhubung ke pulli dan generator (Yoosefdoost & Lubitz, 2021b)-(Piper et al., 2018). Kinerja Turbin Archimedes dapat berpengaruh pada beberapa parameter diantaranya tingkat rendaman turbin, sudut kemiringan turbin, pitch ratio, dan jumlah sudu (Nurdin & Himawanto, 2018).

Nilai sudut α optimal, yang telah ditentukan oleh berbagai penelitian, merupakan salah satu masalah dalam penggunaan turbin Archimedes. Studi ini menggunakan metode eksperimental untuk menganalisis efek sudut α pada kinerja turbin Archimedes. Ini dilakukan untuk mengukur daya output dan untuk mempelajari fenomena kerugian overflow dalam proses konversi energi. Percobaan ini dilakukan dengan tiga beban berbeda dan pelepasan $0,00106 \text{ m}^3 / \text{s}$ (Sriwijaya & Kinetika, 2019). Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sudut alfa yang lebih tinggi menyebabkan peningkatan daya tetapi penurunan efisiensi turbin. Ini karena peningkatan nilai kepala efektif, yang meningkatkan daya yang tersedia. Ini menunjukkan bahwa sudut α tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap jumlah daya yang dihasilkan. Selain itu, ditemukan prediksi bahwa pengisian menyebabkan kerugian ketika sudut α meningkat (Siswantara et al., 2019).

Pada penelitian optimalisasi turbin Archimedes, yang dilakukan A. Aswin Salam menguji turbin Archimedes pada saluran tertutup. Hasil yang didapatkan pada daya output maksimum $72,01 \text{ watt}$ pada head konstan dengan debit $Q_4 0,04001 \text{ m}^3/\text{s}$ pada putaran poros $229,99 \text{ rpm}$ dan efisiensi $12,98 \text{ persen}$ pada debit yang sama dengan ketinggian air pada sudu setengah dari diameter turbinya. (Salam, 2021). Pengaruh laju aliran pada kemiringan terhadap efisiensi turbin srew satu sudu, menunjukkan bahwa efisiensi turbin srew satu sudu dengan jarak pitch 1 Ro tertinggi ($28,89\%$) dan efisiensi turbin srew satu sudu dengan jarak pitch $1,5 \text{ Ro}$ tertinggi ($21,76\%$) ditemukan pada laju aliran volume internal 30 lpm dan sudut kemiringan 20° (Laju et al., 2022). M. Djun dan P. San pada penelitiannya bahwa sudut kemiringan terbaik untuk menghasilkan putaran per menit tertinggi adalah

pada sudut 45^0 , dengan RPM dan torsi maksimum 179,8 dan 0,9 N/m, dengan kecepatan putaran air 1,5 m/s. Sekitar 1,54 kW daya mekanik maksimum dihasilkan dengan efisiensi 94,6%. (Djun & San, 2021).

Jumlah sudu, jumlah lilitan, sudut kemiringan, dan debit adalah beberapa parameter yang mempengaruhi kinerja turbin ulir. Oleh karena itu, penelitian harus dilakukan untuk menentukan kondisi kinerja optimal. Studi ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana sudut kemiringan dan debit masukan mempengaruhi putaran, daya output, dan efisiensi turbin ulir. Penelitian ini dilakukan pada model turbin ulir dengan diameter luar (d_0) 10,10 cm, 15 blade, pitch (p) 3 cm, dan panjang ulir 43 cm. Variasi sudut kemiringan antara 10^0 dan 45^0 , dan debit 84 liter per menit, 95 liter per menit, dan 105 liter per menit. Hasil penelitian menunjukkan putaran maksimum 240 rpm dengan debit 105 liter per menit dan sudut kemiringan 15^0 (Abdulkadir, 2018). Oleh sebab itu dari beberapa penelitian yang telah dilakukan penulis akan melakukan penelitian secara ekperimental dengan judul : *“Analisis Karakteristik Turbin Air Model Archimedes Screw Menggunakan Prinsip Kerja Siphon”*

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang menjadi sumber pertimbangan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut :

- a. Bagaimana karakteristik debit Air terhadap kinerja turbin air model Archimedes screw?
- b. Bagaimana daya turbin terhadap kinerja turbin air model Archimedes screw?
- c. Bagaimana efisiensi turbin terhadap kinerja turbin air model Archimedes screw?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yaitu sebagai berikut :

- a. Menganalisis karakteristik debit Air terhadap kinerja turbin air model Archimedes screw.
- b. Menganalisis daya turbin terhadap kinerja turbin air model Archimedes screw.
- c. Menentukan efisiensi turbin terhadap kinerja turbin air model Archimedes screw.

1.4. Batasan Masalah

Beberapa batasan masalah yang perlu diperhatikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Pipa yang digunakan 3 inch
- b. Kemiringan Sudu tubin 18° , 23° dan 28°
- c. Putaran turbin ditentukan yaitu 200, 300, 400, 500, dan 600 rpm
- d. Beban yang diberikan masing-masing 100, 200, 300, 400 dan 500 gram
- e. Pich yang digunakan sudu Tunggal, dengan panjang 25 cm

1.5. Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memiliki manfaat baik itu kepada peneliti maupun kepada masyarakat luas yang diantaranya sebagai berikut :

- a. Bagi kalangan peneliti, penelitian ini diharapkan berguna bagi pengembangan turbin Archimedes screw
- b. Bagi kalangan masyarakat, untuk memberikan pengetahuan mengenai karakteristik kinerja turbin Archimedes screw sehingga penggunaan dapat dipergunakan dengan baik
- c. Bagi kalangan pemerintah, dapat dibantu dengan pengembangan turbin dengan menggunakan sudu Archimedes screw

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Turbin air

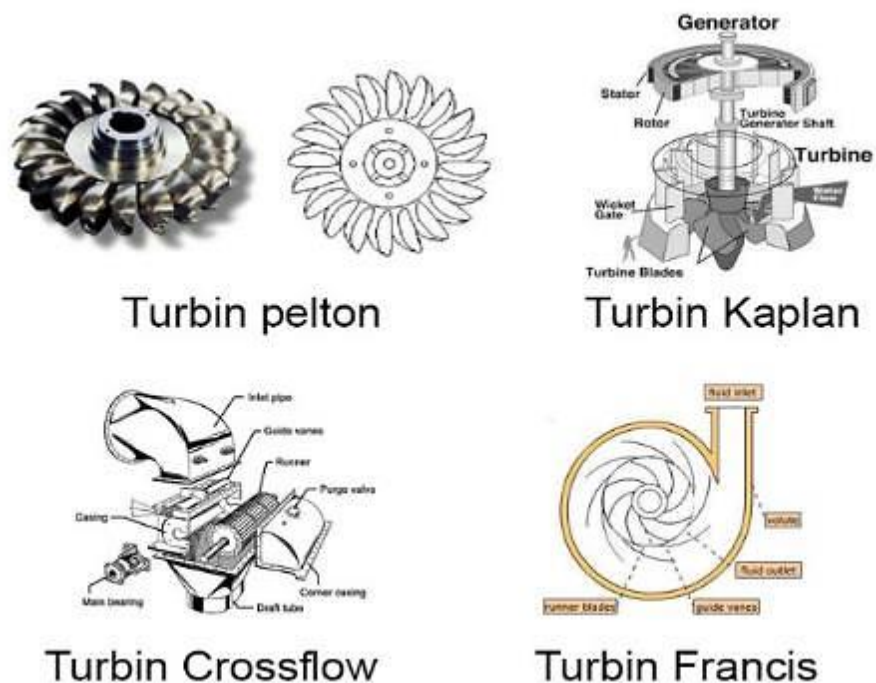
Turbin adalah perangkat mekanis yang berputar, digunakan untuk mengkonversi energi dari aliran fluida dan mengubahnya menjadi kerja yang bermanfaat.(Murthy & Hegde, 2016). Komponen mekanik terpenting dari setiap unit pembangkit tenaga air adalah turbin. Perangkat ini mengubah energi dari air yang bergerak menjadi gerakan rotasi yang dibutuhkan untuk memutar generator dan menghasilkan listrik. Turbin hidrolik merupakan komponen yang sederhana, andal, dan mudah dipahami, serta dibuat dari bahan-bahan sederhana. Sebagian besar turbin dibuat dari besi atau baja, atau dicetak dari perunggu atau paduan lainnya. Di masa lalu, kayu juga sering digunakan (Commission, 2019).

Turbin ini terdiri dari satu komponen bergerak yang disebut rotor, yang dilengkapi dengan bilah dan dipasang pada poros. Fluida yang bergerak menggerakkan bilah, yang kemudian memutar rotor dan mengubah energi fluida menjadi energi rotasi. Rotor ini terhubung ke motor induksi atau generator, yang mengonversi energi mekanik tersebut menjadi energi listrik. Turbin memiliki beberapa jenis diantaranya turbin uap, angin, gas dan air. Turbin uap, yang digerakkan oleh minyak, batu bara, atau energi nuklir, metode ini paling umum untuk pembangkit listrik. Untuk aplikasi listrik yang ramah lingkungan, digunakan turbin angin dan turbin air yang memanfaatkan tenaga angin dan air. Mengingat turbin digunakan dalam berbagai teknologi, penelitian terus dilakukan untuk meningkatkan efisiensi turbin dan rotor, serta memperpanjang umur bilah turbin (Murthy & Hegde, 2016). Turbin air memiliki bagian yang mana terbentuk dari berbagai komponen yang memiliki fungsi masing-masing diantaranya (1) sudu turbin yang memiliki fungsi untuk memperoleh energi kinetik dari jatuhnya air pada bagian sudu, (2) nozzle berfungsi sebagai pengendali arah laju aliran fluida dalam menaikkan kecepatan pada saat masuk maupun keluar, nozzle biasanya berbentuk tabung, (3) rumah turbin harus kuat agar dapat melindungi turbin dari hal-hal yang

dapat mengakibatkan kerusakan pada turbin, serta rumah turbin juga memiliki fungsi sebagai tumpuan roda dan penahan energi air yang keluar dari turbin. Bagian-bagian turbin ini dapat mempengaruhi efektivitas turbin, baik dari pembukaan katub sampai nozzle yang mengatur laju serta debit aliran air yang dapat mempengaruhi daya listrik (Dewangga et al., 2022).

Turbin air pertama kali dibuat oleh orang-orang Yunani dan dipergunakan secara luas pada pertengahan abad di Eropa. Lalu kemudian secara perlahan muncul berbagai jenis turbin air, diantaranya turbin pelton yang pertamakali ditemukan pada abad kesembilan belas oleh Lester A. Pelton, sedangkan turbin Kaplan pertama kali ditemukan oleh Viktor Kaplan di abad ke sepuluh (Sahbana & Anam, 2018).

Berikut ini beberapa jenis-jenis turbin yang dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Jenis-jenis turbin

2.2. Turbin ulir (Archimedes screw)

Turbin ulir pertama kali ditemukan oleh Archimedes (287-212 SM). Dalam sejarah turbin ulir ada teori mengatakan bahwa Archimedes mendapatkan pengetahuan ini saat perjalanan menuju ke Mesir dimana ia belajar. Namun pada saat itu belum ada penjelasan yang lebih kongkrit mengenai sekrup pengangkat air, sehingga dengan kemampuan matematika yang mapan dimiliki seorang Archimedes ia memberikan nama pada sekrup pengangkat air sebagai Archimedes Screw (Lee & Lee, 2021). Dalam karyanya *On Floating Bodies*, Archimedes memperkenalkan hukum keseimbangan fluida dan menggunakannya untuk mendemonstrasikan bentuk volume air. Kemudian, ia menghitung keseimbangan bagian paraboloid yang mengapung di dalam air. Prinsip Archimedes tentang daya apung dinyatakan dengan pernyataan: "Setiap benda yang sepenuhnya atau sebagian terendam dalam fluida mengalami dorongan ke atas yang besarnya sama, tetapi berlawanan arah dengan berat fluida yang dipindahkan."

Meskipun bisa dipikirkan bahwa Archimedes tidak benar-benar menemukan tuas dan penggunaannya, seperti yang banyak peneliti tekankan, ia adalah yang pertama memberikan penjelasan dan formulasi yang ketat tentang hukum keseimbangan mekanika di mana tuas beroperasi. Menurut Pappus dari Alexandria, saat membahas mekanika tuas, Archimedes mengomentari kalimat terkenal 'Berikan aku tempat berpijak dan aku akan menggerakkan bumi'. Kalimat ini juga bisa dianggap sebagai pemikiran ringkas tentang optimisme yang ditujukan Archimedes pada desain mekanisme. Penemuan paling relevan dari Archimedes dapat dianggap sebagai pompa sekrup yang masih dikenal sebagai sekrup Archimedes. Meskipun ada beberapa bukti bahwa pompa sudah ada dalam beberapa bentuk di Mesir Kuno, penting untuk dicatat bahwa Archimedes mendasarkan desainnya pada prinsip-prinsip teoritis, yang memungkinkan penggunaan yang rasional dari alat tersebut.

Sumbangan Archimedes dalam Mekanika Mesin terhadap pengembangan Teori Mekanisme awal dapat dikenali dalam aspek-aspek berikut:

1. Studi teoretis dengan pendekatan matematis yang berguna untuk analisis dan desain mekanisme dan mesin.
2. Studi teoretis dengan pendekatan matematis yang berguna untuk analisis dan desain mekanisme dan mesin.
3. Ketertarikan pada aktivitas eksperimental dalam teori dan penerapan mekanika mesin.
4. Penerapan hasil teoretis dalam rekayasa dengan penemuan mesin baru.

Selain itu, dalam semua karyanya, Archimedes mengekspresikan keyakinan dan optimisme yang kuat terhadap penerapan praktis hasil ilmu pengetahuan (Ceccarelli, 2014).

Archimedes screw secara tradisional digunakan untuk memompa air dari daerah yang lebih rendah ke daerah yang lebih tinggi. Saat ini archimes screw banyak digunakan sebagai turbin pada aliran air yang rendah. Dalam merencanakan turbin pada aliran air yang rendah turbin Kaplan merupakan turbin yang sering digunakan. Namun jika dibandingkan dengan Archimdes screw turbin Kaplan memiliki biaya yang relatif lebih tinggi. Dalam perencanaan Archimdes screw sebagai turbin output energi yang dihasilkan sekitar 15% lebih banyak, selain itu biaya perancangan 10% lebih murah serta dalam perawatan tahunan lebbuh murah 22% (Shahverdi et al., 2019).

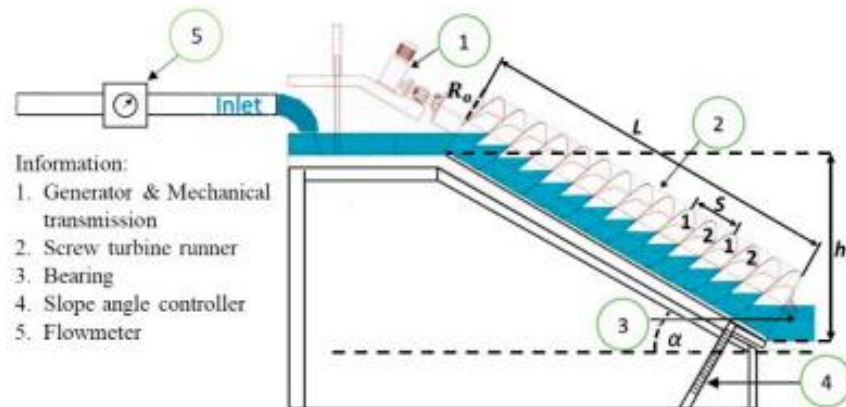
Selain dikenal sebagai turbin sekrup, sesuai dengan konsep awalnya, turbin ini juga disebut sebagai Sekrup Archimedes. Turbin sekrup lebih baik digunakan pada kepala rendah atau perbedaan elevasi antara aliran rendah bahkan nol di hulu dan hilir. Turbin sekrup Archimedes dapat digunakan di lokasi hidro kecil sebagai alat untuk menghasilkan listrik. Ini bisa dilakukan dengan mengoperasikan Sekrup Archimedes secara terbalik, yaitu dengan membuang air dari atas dan membiarkan

sekrup berputar ketika air jatuh. Ini adalah cara yang ekonomis dan efisien untuk menghasilkan listrik dari aliran kecil. Sekrup berputar dan menghasilkan listrik karena tekanan hidrostatik dari air di permukaan sekrup. Ketika air memenuhi sekrup dari saluran masuk di bagian atas lereng, tekanan di bidang heliks sekrup memungkinkan terjadinya rotasi sekrup. Prinsip kerja turbin Sekrup Archimedes adalah, air dari ujung atas mengalir ke ruang antara bilah sekrup dan keluar dari ujung bawah, sehingga akan mempengaruhi gravitasi air dan perbedaan tekanan hidrostatik di ember sekitar rotor yang mendorong bilah sekrup dan memutar rotor di porosnya. Kemudian rotor turbin akan memutar generator listrik yang terhubung dengan poros ujung atas turbin sekrup. Keuntungan dari Turbin Sekrup Archimedes dibandingkan dengan turbin lainnya adalah:

1. Tepat dikembangkan untuk area yang memiliki debit sumber air besar tetapi memiliki kepala yang kecil
2. Tidak memerlukan sistem kontrol yang rumit seperti turbin lainnya.
3. Tekanan air pada turbin tidak merusak ekologi, dengan kata lain, tidak berdampak pada spesies air (ikan).
4. Tidak memerlukan tabung draft sehingga dapat mengurangi biaya pemasangan tabung draft.
5. Memiliki efisiensi yang tinggi, dengan variasi debit besar dan sangat baik untuk aliran debit kecil.
6. Tidak memerlukan penggunaan jaring halus sebagai penghalang puing-puing ke turbin, sehingga dapat mengurangi biaya pemeliharaan (Weking & Sudarmojo, 2019)

Penelitian pertama mengenai turbin Archimedes screw yang dilakukan di Inggris di sungai Dart, dengan memasukkan belut menunjukkan tidak ada belut yang mati selama melewati turbin, meskipun kamera yang dipasang menunjukkan 28% individu melewati turbin. Tingkat cedera yang dilakukan melalui pemeriksaan hanya sekitar 1%. Turbin Archimedes screw menghasilkan efisiensi yang lebih rendah ketika putaran turbin lebih tinggi, ini disebabkan karena gaya gesek terhadap sudu-sudu turbin. Selain itu dalam proses perencanaan turbin Archimedes screw dengan

menggunakan sudu yang lebih kecil akan mengalami kerugian efisiensi dibandingkan sudu turbin yang lebih besar (Shahverdi et al., 2019). turbin Archimedes screw dapat dilihat pada gambar 2.2 berikut.



Gambar 2. Pompa Archimedes Screw pada jaman kuno(Lee & Lee, 2021)

2.3. Pembangkit listrik tenaga air

Pembangkit listrik tenaga air terus meningkat dari tahun ketahun dengan memanfaatkan energi terbarukan selain tenaga air seperti tenaga surya dan tenaga angin meningkat secara konsisten selama periode yang sama. Perkembangan ini menunjukkan dengan jelas bahwa pasar energi cenderung fokus pada energi terbarukan dalam beberapa tahun terakhir. Di sisi lain, ada penurunan bertahap dalam produksi listrik dari bahan bakar fosil. Kekhawatiran terhadap pemanasan global dan emisi dari pembangkit listrik tenaga fosil adalah kemungkinan alasan mengurangi investasi pada sumber fosil. Beberapa tahun terakhir pembangkit listrik energi terbarukan telah banyak dipasang diberbagai negara.

Proses produksi listrik dari tenaga air melalui beberapa tahap. Tenaga air yang tersedia di alam berasal dari ketinggian air alami di daerah yang sesuai, yang bisa ditingkatkan melalui penggunaan bendungan dan aliran sungai yang deras. Energi ini diubah menjadi energi mekanik menggunakan turbin atau pompa yang berfungsi sebagai turbin, dan kemudian diubah menjadi energi listrik melalui generator. Secara keseluruhan, terdapat dua tahap utama dalam konversi energi ini:

(1) mengubah energi air menjadi energi mekanik, dan (2) mengubah energi mekanik menjadi energi listrik (Murthy & Hegde, 2016). Tenaga air merupakan energi yang ramah lingkungan, 16 % dari total produksi listrik di dunia menggunakan energi air (Fernandes et al., 2018). Energi air memiliki energi potensial yang kemudian diubah menjadi energi kinetik yang digunakan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air (Wahab et al., 2023). Energi ini dilepaskan ketika air mengalir menuruni lereng, biasanya diantisipasi dengan berbagai cara di sepanjang aliran air yang mengalir ke bawah. Turbin air dapat memanfaatkan sebagian dari energi ini dan menggunakannya untuk menghasilkan listrik (Commission, 2019).

Ada beberapa jenis pembangkit listrik diantaranya :

Tabel 1. Jenis-jenis pembangkit listrik (Commission, 2019).

No	Pembangkit listrik	daya
1	Large – Hidro	> 100 MW
2	Medium – Hidro	15 – 100 MW
3	Small – Hidro	1 – 15 MW
4	Mini – Hidro	> 100 kW < 1 MW
5	Micro – Hidro	5kW – 100 Kw
6	Pico – Hidro	< 5 kW

Selain ada beberapa kriteria yang harus diperhatikan dalam perancangan turbin diantaranya pemilihan bahan yang ringan, hemat biaya kemampuan menghasilkan energi listrik yang efisien serta jangka Panjang (Ishola et al., 2019).

2.4. Prinsip dasar pembangkit listrik tenaga pico hidro (PLTPH)

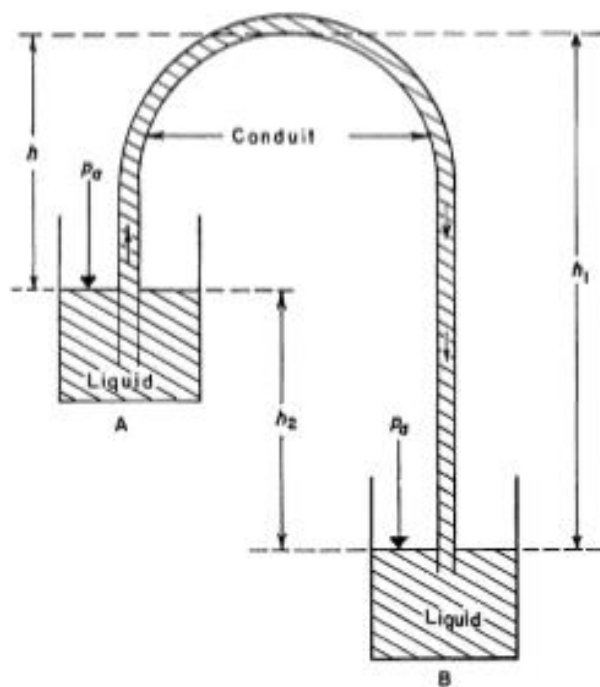
PLTA Pico telah digunakan selama beberapa dekade sebagai langkah untuk menyediakan listrik di daerah pedesaan terutama di wilayah perbukitan dan pegunungan. Sistem piko-hidro standar adalah terdiri dari turbin yang menggerakkan generator, pengontrol, serta sistem distribusi tegangan rendah yang melayani beban konsumen seperti penerangan, pengisi daya ponsel, dan radio. Turbin dirancang untuk beroperasi pada kecepatan konstan guna menghasilkan frekuensi jaringan, serta pengontrol untuk menjaga beban konstan pada generator. Kondisi lingkungan, seperti penurunan laju aliran atau head, dapat menyebabkan kerusakan system .

Saat ini energi terbarukan mulai dikembangkan diantaranya energi air. Pada energi air pico hidro merupakan salah satu yang banyak digunakan dengan memanfaatkan energi potensial dari air itu sendiri (Qu & Guo, 2021), (Singh & Singal, 2017) Pembangkit Listrik Tenaga Pico Hidro (PLTPH) merupakan pembangkit listrik dengan skala kurang dari 5 KW. PLTPH juga sangat cocok untuk wilayah pedesaan dikarenakan biaya yang murah serta ramah akan fauna air (Lubis & Adanta, 2019). Dalam pembangunan pico hidro tidak perlu merelokasi masyarakat sekitar serta dalam pembangunan pembangkit ini dapat berdampak kepada masyarakat atas kesadaran dalam pelestarian alam. Selain itu dalam proses pembangunan instalasi pico hidro termasuk murah (Cobb & Sharp, 2013)

2.5. Pipa shipon

Pipa Siphon adalah konfigurasi pipa yang dapat digunakan untuk memindahkan air dari satu bejana ke bejana lain yang lebih rendah dengan terlebih dahulu menaikkannya sampai ke level tertentu sehingga membentuk “punuk”. Pada dasarnya, ketika pipa siphon terisi cairan, cairan di dalamnya akan terus mengalir tanpa bantuan pompa. Pompa hanya dibutuhkan saat pipa siphon pertama kali dihidupkan agar cairan dapat naik ke "punuk" pipa siphon; setelah itu, air bebas mengalir menuju bejana yang lebih rendah. Tekanan statis suatu titik di pipa dan

kecepatan aliran air yang melewatinya berkorelasi dengan tekanan total (P_{tot}) titik tersebut. Dengan prinsip ini beberapa penelitian dilakukan pada turbin air menggunakan prinsip siphon (Luthfie, 2017). Prinsip kerja siphon telah lama dan dipatenkan di Amerika Serikat sekitar tahun 1945. Meskipun demikian, informasi tentang turbin siphon dalam literatur ilmiah masih terbatas. Penelitian menggunakan prinsip siphon sering digunakan pada skala laboratorium (Martinez et al., 2019). Prinsip siphon banyak digunakan dalam perencanaan turbin air skala kecil. Ini dikarenakan pipa siphon dapat pasang diatan bendungan atau waduk (Zhou et al., 2019). Konfigurasi pipa siphon secara sederhana ditunjukkan pada Gambar 2.3. (Luthfie, 2017).



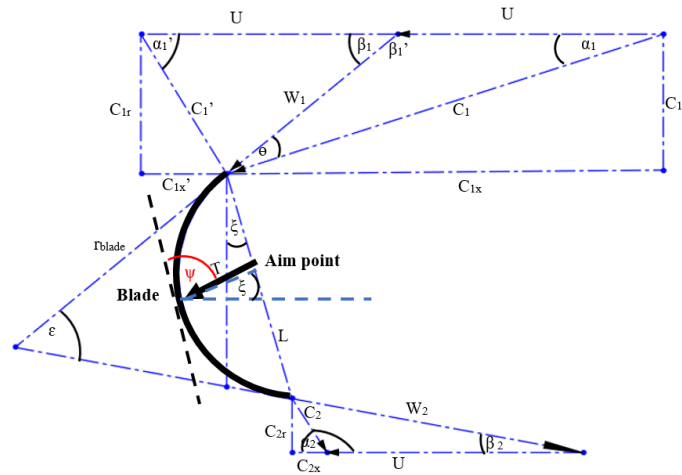
Gambar 3. Pipa shipon (Luthfie, 2017)

2.6. Segitiga kecepatan

Segitiga kecepatan (velocity triangle) adalah salah satu elemen kunci dalam desain dan analisis kinerja turbin. Konsep ini membantu menganalisis interaksi antara fluida dan sudu-sudu turbin. Segitiga kecepatan menggambarkan hubungan antara kecepatan absolut fluida (C), kecepatan relatif terhadap sudu (W), dan kecepatan putar (U) di berbagai titik dalam aliran fluida melalui turbin, baik di sisi masuk (inlet) maupun sisi keluar (outlet).

Dalam perancangan turbin aksial, segitiga kecepatan umumnya digunakan untuk menghitung parameter-parameter penting seperti gaya aksial, gaya radial, dan momentum angular. Perhitungan ini dilakukan di sisi stator dan rotor turbin. Desain yang optimal melibatkan analisis segitiga kecepatan untuk meminimalisir kehilangan energi dan meningkatkan efisiensi turbin.

Salah satu faktor penting dalam perhitungan segitiga kecepatan adalah kondisi swirl (pusaran fluida) pada inlet yang harus diatur, dan sudut nozzle yang mempengaruhi arah aliran fluida masuk. Desain turbin yang baik memperhatikan sudut ini untuk mencapai efisiensi maksimum dalam konversi energi fluida menjadi energi mekanik. Pada tahap awal desain, segitiga kecepatan juga digunakan untuk menentukan dimensi sudu pengarah (guide vane) dan sudu jalan (blade), yang penting untuk mengarahkan aliran fluida secara efisien di sepanjang turbin (Syarafina et al., 2020).



Gambar 4. Skema segitiga kecepatan pada bilah (Syarafina et al., 2020).

2.7. Karakteristik turbin air

Dalam proses perancangan turbin ulir ada variable yang harus diperhatikan, baik secara internal maupun eksternal. Variable eksternal ditentukan dari radius luar, Panjang, dan kemiringan) sedangkan parameter internal yaitu jari-jari dalam, dan jumlah blade (Duta, 2018).

2.1.1. Debit

Jumlah air yang mengalir dalam satuan volume per satuan waktu dinyatakan dengan debit aliran. Adapun yang diukur yaitu besaran air yang keluar dalam satuan meter kubik per detik (m^3/s). Laju aliran air, dalam bentuk volume air, yang melewati suatu penampang melintang sungai per satuan waktu disebut debit aliran. Berikut ini persamaan dalam menghitung debit air (Syam, 2023).

$$Q = \frac{v}{t} \quad (1)$$

Dimana

Q = debit aliran air (m^3/s)

t = Waktu (s)

v = volume air (m^3)

2.1.2. Kecepatan aliran air

Kecepatan aliran air memiliki hubungan antara luas penampang. Aliran air memiliki kecepatan tertentu sehingga dalam menentukan kecepatan aliran air dapat menggunakan persamaan berikut (Lubis & Adanta, 2019).

$$v = \frac{Q}{A} \quad (2)$$

Dimana :

V = volume (m^3)

Q = debit aliran air (m^3/s)

A = luas penampang (m^2)

2.1.3. Daya air

Daya air dapat diketahui oleh daya hidrolis yang dihasilkan dari air bergerak menuju ke turbin dan menggerakkan turbin itu sendiri. Untuk menghitung daya air dapat menggunakan persamaan berikut (Salam, 2021).

$$N_A = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot Q \cdot v^3 \quad (3)$$

Dimana

N_A = daya air

ρ = densitas air (kg/m^3)

Q = debit aliran air (m^3/s)

v = kecepatan aliran air (m/s)

2.1.4. Torsi

Pengukuran nilai torsi pada putaran turbin berdasarkan efek yang terjadi pada poros turbin dikarenakan pengereman yang disebabkan oleh tali. Putaran turbin yang melemah oleh karena pengereman yang terjadi sehingga untuk dapat mengetahui nilai torsi dapat menggunakan persamaan berikut (Indarto et al., 2021).

$$\tau = F \cdot r \quad (4)$$

Dimana :

τ = torsi (Nm)

F = gaya gravitasi bumi (m/s^2)

r = diameter pully (m)

2.1.5. Kecepatan sudut

Daya turbin dapat ditentukan dengan mengukur torsi pada poros turbin. Sehingga dalam penentuan kecepatan sudut bias dilakukan. Adapun persamaan yang dapat digunakan dalam penentuan kecepatan sudut sebagai berikut (Erinofiardi et al., 2017).

$$\omega = \frac{2\pi}{60} N \quad (5)$$

Dimana :

ω = kecepatan sudut (rad/s)

N = kecepatan putaran (rpm)

2.1.6. Daya turbin

Daya turbin dihasilkan oleh momen putar yang dihasilkan oleh turbin. Dimana energi yang berasal dari air di menggerakkan turbin. Adapun persamaan yang dapat digunakan dalam menghitung daya turbin berikut ini (Yunus et al., 2018).

$$N_T = \tau \cdot \omega \quad (6)$$

Dimana :

N_T = daya turbin (watt)

τ = torsi (Nm)

ω = kecepatan sudut (rad/s)

2.1.7. Efisiensi turbin

Untuk mengetahui seberapa besar energi kinetik air yang dapat menggerakkan turbin disebut efisiensi. Sehingga dalam menghitung efisiensi turbin dapat menggunakan persamaan berikut (Erinofiardi et al., 2017).

$$\eta_{\tau} = \frac{N_T}{N_A} \cdot 100 \% \quad (7)$$

Dimana :

N_T = daya Turbin (watt)

N_A = daya air (watt)