

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian yang Relevan

No	Penulis & Tahun	Judul	Pembahasan
[1]	Nugroho, Nahak, dan Annisa (2023)	Sistem Informasi Debit Air Realtime Berbasis Internet of Things (IoT)	Penelitian ini mengembangkan sistem sensor debit air dan sistem informasi berbasis real-time dengan tingkat akurasi tinggi dan kemampuan monitoring kontinu. Sistem ini mampu melakukan pengukuran debit air pada saluran irigasi secara cepat dan presisi, terutama untuk wilayah kepulauan. Penerapan sistem ini dapat meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi kebutuhan tenaga kerja. Sensor yang digunakan berbasis ultrasonik, terintegrasi dengan mikrokontroler, serta didukung oleh sumber daya energi berupa solar cell dan baterai. Data yang dihasilkan meliputi level air, debit sesaat, serta volume akumulatif harian, mingguan, dan bulanan.

[2]	Wedanta, Wijaya, dan Jasa (2021)	ANALISA PENGARUH KEMIRINGAN HEAD DAN VARIASI SUDUT BLADE TURBIN ULIR TERHADAP KINERJA PLTMH	Analisis dilakukan untuk mengetahui pengaruh kemiringan head dan variasi sudut blade pada turbin ulir terhadap performa PLTMH, dengan parameter keluaran berupa torsi, kecepatan putar, tegangan, arus, daya, serta putaran generator. Hasil eksperimen menunjukkan kondisi optimum pada kemiringan head 40° dan sudut blade 28° . Pada kondisi tersebut diperoleh tegangan 73,8 V, arus 148,9 A, dan daya 10,98882 W. Kecepatan turbin sebelum dikopel sebesar 596 rpm dan menurun menjadi 304 rpm setelah dikopel, sedangkan kecepatan generator mencapai 3863 rpm. Nilai torsi yang dihasilkan sebesar 0,3492 Nm dengan efisiensi sistem sebesar 14,16%.
[3]	Raditya, Jasa, dan Wijaya (2021)	ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN GEARBOX PADA TURBIN ARCHIMEDES SCREW UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA	Penelitian ini menganalisis pengaruh penambahan gearbox pada turbin Archimedes screw terhadap output generator, meliputi arus, tegangan, torsi, dan efisiensi. Turbin yang digunakan memiliki 9 sudu dengan sudut 24° dan ketebalan 0,25 cm, serta

		MIKRO HIDRO (PLTMH)	menggunakan gearbox tipe spur gear dengan rasio 4:9.
[4]	Wiranto, Hiendro, dan Wicaksono (2023)	Analisis Pengaruh Jumlah Blade Turbin Air Terhadap Kinerja PLTMH Dengan Menggunakan Turbin Terapung Archimedes Screw	Untuk meningkatkan performa pada kondisi aliran yang berubah, diterapkan sistem floating pada turbin. Selain itu, dilakukan variasi jumlah blade untuk menentukan konfigurasi optimal melalui metode deskriptif berbasis prototipe. Hasil pengujian menunjukkan bahwa konfigurasi satu blade menghasilkan performa terbaik, dengan kecepatan putar 510,1 rpm, tegangan 0,199 V, torsi 0,004926 Nm, daya 0,26 W, dan efisiensi mencapai 83,84%.
[5]	Saputra, Saputra, dan Dewi (2024)	Analisis Variasi Perbandingan Diameter Pulley terhadap Efisiensi pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pltmh) dengan Turbin Archimedes Screw	Penelitian ini mengevaluasi performa PLTMH dengan turbin ulir melalui variasi rasio diameter puli sebesar 1:1, 3:2, 2:1, dan 3:1. Hasil analisis menunjukkan bahwa rasio puli berpengaruh terhadap output daya generator. Rasio 2:1 memberikan kinerja optimal dengan daya tertinggi pada setiap kondisi beban,

			sedangkan rasio 1:1 menghasilkan performa terendah pada seluruh variasi pembebanan.
--	--	--	--

2.2 Landasan Teori

Pada prinsipnya, sistem pembangkit listrik tenaga air mengonversi energi fluida menjadi energi mekanik dan kemudian menjadi energi listrik. Energi potensial dan kinetik air digunakan untuk menggerakkan turbin sehingga menghasilkan putaran poros sebagai energi mekanik. Putaran tersebut selanjutnya diteruskan ke generator untuk dikonversi menjadi energi listrik.

Kinerja sistem pembangkit listrik tenaga air tidak hanya ditentukan oleh proses konversi energi, tetapi juga oleh karakteristik aliran, seperti debit, kecepatan aliran, dan head. Parameter tersebut berpengaruh langsung terhadap potensi energi yang tersedia untuk dikonversi menjadi energi listrik. Pada sistem dengan head rendah, turbin konvensional seperti Francis dan Pelton umumnya tidak bekerja secara optimal. Oleh karena itu, digunakan turbin khusus seperti turbin sekrup Archimedes yang dirancang untuk kondisi head rendah dan debit kecil [6].

2.2.1 Energi Baru Terbarukan (EBT)

Energi konvensional merupakan energi yang berasal dari sumber daya terbatas dan umumnya memiliki dampak negatif terhadap lingkungan. Sebaliknya, energi terbarukan diperoleh dari sumber alam yang berkelanjutan, seperti radiasi matahari, angin, dan aliran air. Energi air merupakan salah satu bentuk energi baru terbarukan (EBT) yang dapat dimanfaatkan sebagai

pembangkit listrik, terutama di daerah yang memiliki potensi sumber daya air yang cukup besar. Keunggulan energi ini adalah tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca sehingga lebih ramah lingkungan [7].

2.2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Pembangkit listrik tenaga air adalah sistem konversi energi terbarukan yang mengubah energi potensial dan kinetik air menjadi energi listrik melalui turbin dan generator. Besarnya energi yang tersedia ditentukan oleh nilai head dan debit aliran air pada lokasi tertentu. Energi tersebut digunakan untuk menggerakkan turbin sehingga menghasilkan energi mekanik berupa putaran poros, yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik oleh generator[8].

Energi listrik berbasis tenaga air (*hidro*) merupakan salah satu bentuk energi terbarukan yang dapat berkontribusi dalam mengurangi dampak lingkungan dan pemanasan global. Potensi energi air sangat besar untuk dikembangkan, baik dalam skala besar melalui PLTA, maupun dalam skala menengah dan kecil melalui sistem PLTM dan PLTMH yang memanfaatkan kondisi tekanan dan debit air yang lebih rendah [9]

Berdasarkan kapasitas daya yang dihasilkan, pembangkit listrik tenaga air dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kategori, yaitu:

1. *Large Hydro*

Pembangkit listrik tenaga air dengan kapasitas lebih dari 100 MW.

2. *Small Hydro*

Pembangkit listrik tenaga air dengan kapasitas antara 1 MW hingga 100 MW.

3. *Mini Hydro*

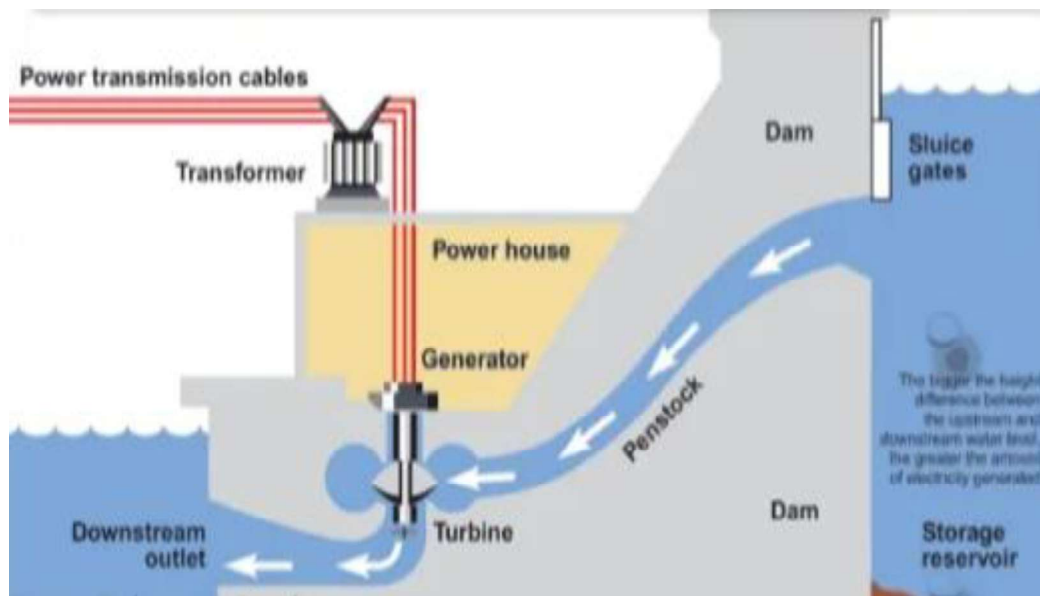
Pembangkit listrik tenaga air dengan kapasitas antara 100 kW hingga 1 MW.

4. *Micro Hydro*

Pembangkit listrik tenaga air dengan kapasitas antara 5 kW hingga 100 kW.

5. *Pico Hydro*

Pembangkit listrik tenaga air dengan kapasitas kurang dari 5 kW.



Gambar 2. 1 Sistem Kerja PLTA

(Sumber: <https://share.google/hnV7GgcOTH48bmWPP>)

a. Prinsip Kerja PLTA

Air dialirkan melalui pintu air dengan debit yang telah disesuaikan dengan kebutuhan sistem. Aliran tersebut kemudian masuk ke pipa pesat (penstock) yang berfungsi meningkatkan tekanan air sebelum mencapai turbin. Air bertekanan selanjutnya mengenai sudu turbin sehingga menghasilkan putaran mekanik. Putaran ini diteruskan melalui poros ke rotor generator. Saat rotor berputar dalam medan magnet, terjadi perubahan fluks magnet pada stator yang menginduksi gaya gerak listrik (GGL), sehingga dihasilkan energi listrik [10].

b. Komponen PLTA [11]

- Bendungan

Berfungsi menaikkan permukaan air sungai untuk menciptakan tinggi jatuh air. Selain menyimpan air, bendungan juga dibangun tujuan untuk menyimpan energi.

- Turbin

Gaya jatuh air yang mendorong sudu turbin menyebabkan turbin berputar. Turbin air kebanyakan seperti kincir angin, dengan menggantikan fungsi

dorong angin untuk memutar baling - baling digantikan air untuk memutar turbin. Selanjutnya turbin merubah energi kinetik yang disebabkan gaya jatuh air menjadi energi mekanik.

- Generator

Generator dikopel dengan turbin melalui mekanisme roda gigi, sehingga putaran turbin akan langsung menggerakkan generator. Fungsi utama generator adalah mengonversi energi mekanik dari turbin menjadi energi listrik. Prinsip kerjanya mengacu pada hukum Faraday, di mana perubahan fluks magnet pada kumparan menghasilkan gaya gerak listrik (GGL). Saat rotor berputar akibat penggerak turbin, medan magnet akan memotong kumparan stator dan menginduksi tegangan listrik. Pada sistem pico hydro, biasanya digunakan generator DC atau generator sinkron berkapasitas kecil sesuai dengan daya yang dihasilkan turbin.

2.2.3 Pembangkit Listrik Tenaga *Pico Hydro* (PLTPH)

Pembangkit Listrik Tenaga Pico Hydro (PLTPH) adalah sistem pembangkit berbasis energi air dengan kapasitas keluaran di bawah 5 kW. Sistem ini dirancang untuk melayani kebutuhan listrik skala kecil, seperti rumah tangga atau komunitas di wilayah yang belum terhubung dengan jaringan listrik utama. Pengembangan pico hydro merupakan solusi pemanfaatan energi terbarukan yang efektif karena didukung oleh desain teknologi yang sederhana, biaya instalasi yang rendah, serta dampak lingkungan yang minimal.

Pada prinsipnya, sistem PLTPH mengonversi energi potensial dan kinetik aliran air menjadi energi listrik. Energi potensial dihasilkan oleh perbedaan head antara sumber air dan turbin, sedangkan energi kinetik berasal dari kecepatan aliran air. Energi ini digunakan untuk menggerakkan turbin sehingga menghasilkan energi mekanik berupa rotasi poros. Rotasi tersebut kemudian diteruskan ke generator untuk dikonversi menjadi energi listrik melalui mekanisme induksi elektromagnetik [12].

Menurut Jabar et al. (2020), pengembangan sistem pico hydro dapat dilakukan dengan memilih jenis turbin yang sesuai dengan karakteristik sumber air, seperti turbin crossflow, propeller, serta turbin sekrup Archimedes.

2.2.4 Turbin Air

Turbin air adalah mesin penggerak mula yang memanfaatkan air sebagai fluida kerja untuk menghasilkan energi mekanik. Secara umum, turbin mengonversi energi fluida kerja menjadi energi putar pada roda turbin. Fluida kerja yang digunakan dapat berupa air, uap, atau gas. Komponen utama turbin terdiri dari rotor (bagian berputar) dan stator (bagian diam). Rotor yang berada di dalam rumah turbin akan memutar poros daya yang kemudian digunakan untuk menggerakkan beban, seperti generator [13].

2.2.4.1 Prinsip Kerja Turbin Air

Roda turbin dilengkapi dengan sudu yang memiliki bentuk dan penampang tertentu sebagai elemen utama interaksi dengan fluida. Air sebagai fluida kerja mengalir melalui ruang antar sudu, sehingga menghasilkan gaya yang menyebabkan turbin berputar. Gaya tersebut muncul akibat perubahan momentum aliran fluida yang melewati sudu. Oleh karena itu, desain sudu harus dioptimalkan agar mampu memaksimalkan perubahan momentum fluida.

2.2.4.2 Klasifikasi Turbin Air

Turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin implus dan turbin reaksi masing-masing dapat diaplikasikan untuk air yang mengalir pada *head* tertentu. Sedangkan untuk aplikasi atau pemilihan dari berbagai jenis turbin air sebagai pembangkit listrik dapat menggunakan klasifikasi *head*, diantara lain:

Tabel 2. 1 Klasifikasi Turbin Air Berdasarkan Ketinggian

Tipe Turbin	Klasifikasi <i>Head</i>		
	<i>High</i> > 50m	<i>Medium</i> 10-15m	<i>Low</i> < 10m
	Pelton	Cross-flow	

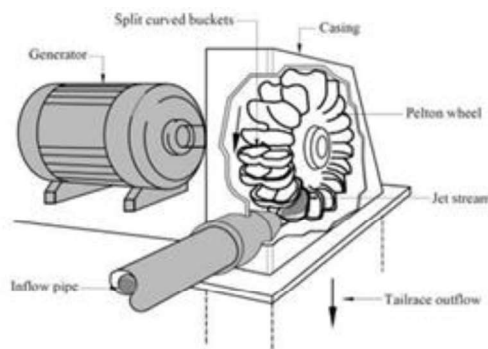
Impuls	Turgo Multi jet Pelton	Turgo Multi jet Pelton	Cross-flow
Reaksi		Francis (Spiral Case)	Francis Propeler Kaplan

1. Turbin Impuls

Turbin impuls adalah turbin tekanan sama karena aliran air yang keluar dari nosel tekanannya adalah sama dengan tekanan atmosfer sekitarnya. Adapun jenis – jenis turbin impuls adalah sebagai berikut:

a. Turbin Pelton

Turbin Pelton merupakan turbin impuls yang terdiri dari runner dengan sudu-sudu yang digerakkan oleh jet air berkecepatan tinggi dari satu atau lebih nosel. Dibandingkan dengan turbin impuls lainnya, turbin Pelton memiliki efisiensi yang relatif lebih tinggi dalam mengonversi energi kinetik air menjadi energi mekanik.



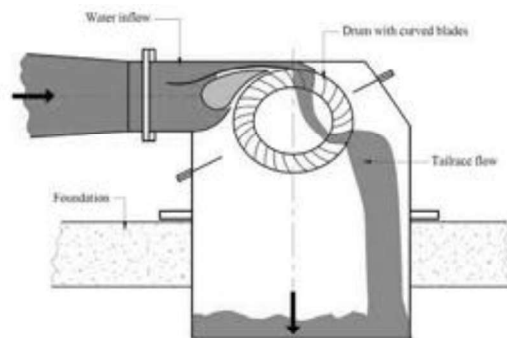
Gambar 2. 2 Turbin Pelton

(Sumber: Jenis-Jenis Turbin n.d. 2015)

b. Turbin *Cross-flow*

Turbin *Cross-flow* memiliki guide vane yang mengarahkan aliran air sehingga clearance antara aliran dan sudu pada runner menjadi minimal. Mekanisme kerjanya adalah air dari nosel memasuki runner dan memberikan impuls pada sudu tahap pertama. Air kemudian keluar melalui celah sudu, melewati ruang

dalam runner, dan kembali berinteraksi dengan sudu tahap kedua sebelum akhirnya keluar menuju tailrace.

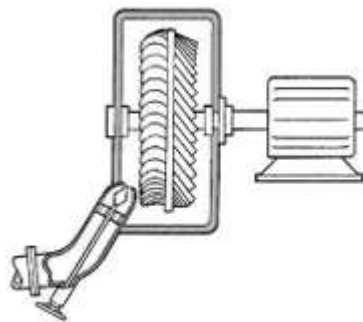


Gambar 2. 3 Turbin *Cross-flow*

(Sumber: Jenis-Jenis Turbin n.d. 2015)

c. Turbin Turgo

Turbin Turgo merupakan turbin impuls yang serupa dengan turbin Pelton, namun memiliki desain sudu yang berbeda. Turbin ini memiliki kecepatan rotasi yang lebih tinggi dibandingkan Pelton, sehingga memungkinkan direct coupling dengan generator. Hal ini meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan sekaligus mengurangi kebutuhan perawatan akibat minimnya komponen transmisi.



Gambar 2. 4 Turbin Turgo

(Sumber: Jenis-Jenis Turbin n.d. 2015)

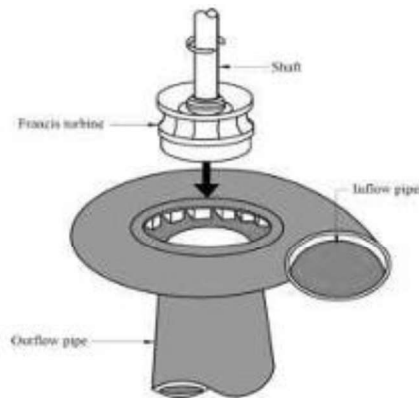
2. Turbin Reaksi

Pada turbin reaksi, sudu dirancang dengan profil tertentu yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan fluida selama proses aliran. Gradien

tekanan ini menghasilkan gaya hidrodinamik pada sudu yang memutar runner. Turbin dengan mekanisme kerja seperti ini termasuk dalam kategori turbin reaksi. Dilihat dari konstruksinya, turbin reaksi ada dua jenis yaitu:

1. Turbin Francis

Turbin Francis termasuk dalam kategori turbin reaksi yang menggunakan guide vane sebagai pengarah aliran. Guide vane berfungsi mengarahkan fluida agar masuk secara tangensial ke runner. Pada turbin Francis, sudu pengarah dapat berupa tipe fixed maupun adjustable yang memungkinkan pengaturan sudut untuk mengoptimalkan kinerja turbin.

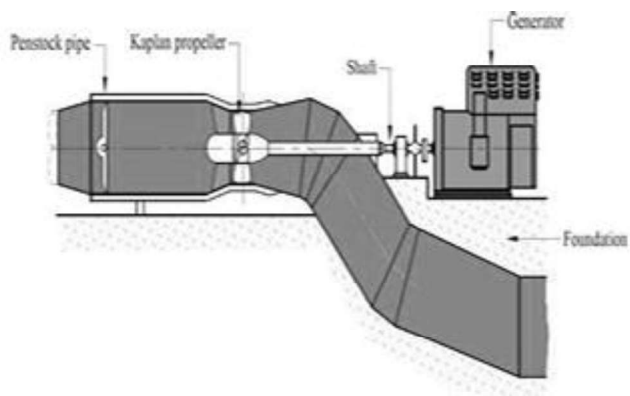


Gambar 2. 5 Turbin Francis

(Sumber: Jenis-Jenis Turbin n.d. 2015)

2. Turbin Kaplan

Turbin Kaplan merupakan turbin reaksi yang dirancang untuk beroperasi pada kecepatan rotasi tinggi. Desain ini memungkinkan ukuran runner lebih kompak serta mendukung direct coupling dengan generator. Kaplan dilengkapi dengan mekanisme *adjustable blade* yang memungkinkan penyesuaian terhadap variasi beban dan kondisi operasi. Oleh karena itu, turbin ini digunakan pada PLTA sungai dengan karakteristik head yang berubah-ubah.



Gambar 2. 6 Turbin Kaplan
(Sumber: Jenis-Jenis Turbin n.d. 2015)

3. Turbin Kinetik

Kinetic Turbin disebut juga sebagai turbin aliran bebas, menghasilkan listrik dari energikinetik di dalam air yang mengalir, alih-alih dari energi potensial dari ketinggian. Sistem dapat beroperasi di sungai, saluran buatan manusia, air pasang surut, atau arus laut. Sistem Kineticmemanfaatkan jalur alami aliran air.



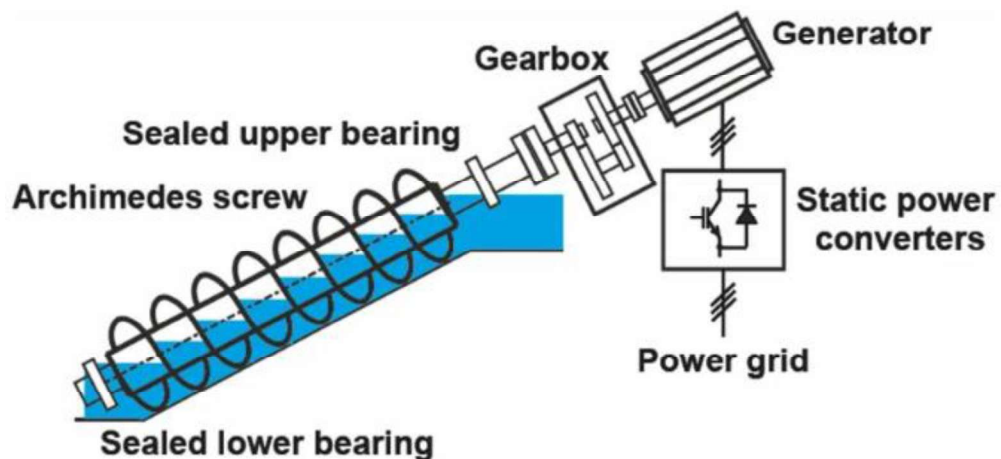
Gambar 2. 7 Turbin Kinetik
(Sumber: Jenis-Jenis Turbin n.d. 2015)

2.2.5 Turbin Sekrup Archimedes

Archimedes sekrup 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. Ketika digunakan sebagai pompa, sekrup biasanya diputar oleh generator atau tenaga kerja manual. Ketika poros berputar, ujung bawah menggulung volume air yang disebut sebagai ember. 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. Palung yang terbuka dan desain keseluruhan sekrup memungkinkan lintasan puing tanpa tersumbat. Turbin sekrup Archimedes adalah turbin air yang beroperasi berdasarkan mekanisme helikal, di mana aliran fluida menyebabkan rotasi pada ulir. Turbin ini merupakan adaptasi dari pompa Archimedes yang umumnya digunakan untuk mengangkat air ke elevasi lebih tinggi. Dalam aplikasi pembangkit listrik, prinsip kerjanya dibalik sehingga aliran air yang melewati ruang antar ulir menghasilkan torsi yang memutar poros turbin.[14]

Turbin Archimedes memiliki beberapa keunggulan dibandingkan turbin konvensional, antara lain:

1. Mampu bekerja pada *head* rendah
2. Konstruksi sederhana
3. Biaya pembuatan relatif murah
4. Ramah lingkungan terhadap ekosistem sungai



Gambar 2. 8 Skema Turbin Archimedes

(Sumber: <https://share.google/uAZTl0rE8xcUU0CUL>)

Penelitian yang dilakukan oleh (Alfathir et al. 2024) menunjukkan bahwa turbin Archimedes memiliki performa yang baik pada sistem pico hydro dengan efisiensi yang cukup stabil pada berbagai kondisi debit air.

2.2.6 Sistem Monitoring

Sistem monitoring adalah suatu mekanisme sistematis yang digunakan untuk menentukan standar kinerja, membangun sistem feedback informasi, melakukan evaluasi antara kinerja aktual dan standar, mendeteksi deviasi, serta mengimplementasikan tindakan perbaikan yang diperlukan [15].

Sistem monitoring pada PLTPH digunakan untuk memantau parameter operasi secara *real-time* guna memperoleh informasi kondisi sistem selama beroperasi. Parameter yang dimonitor meliputi tegangan generator, arus, daya, kecepatan putar turbin, serta debit aliran air. Monitoring parameter ini penting untuk analisis performa sistem dan memastikan operasi berada dalam batas aman dan efisien [16].

Kemajuan teknologi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan sistem monitoring dilakukan secara otomatis dan terintegrasi melalui jaringan internet. Data dari sensor diakuisisi oleh mikrokontroler dan selanjutnya ditransmisikan ke

platform monitoring berbasis cloud, sehingga dapat diakses secara real-time melalui perangkat komputer atau smartphone [17].

Dalam penelitian ini, sistem monitoring dirancang menggunakan beberapa perangkat utama yang dapat dijelaskan sebagai berikut.

2.2.6.1 Mikrokontroler ESP32

ESP32 adalah mikrokontroler yang banyak diaplikasikan pada sistem IoT karena memiliki performa pemrosesan yang cukup tinggi serta integrasi modul WiFi dan Bluetooth. Dalam sistem, ESP32 berperan sebagai unit pengolah data yang mengakuisisi data dari sensor, kemudian mentransmisikannya ke server atau platform monitoring melalui koneksi internet[18].



Gambar 2. 9 Mikrokontroler ESP32

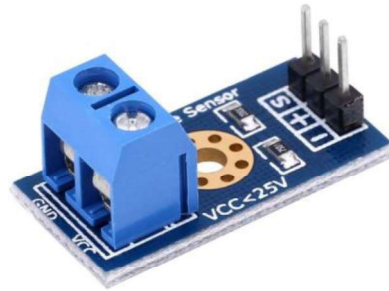
(Sumber: https://m.media-amazon.com/images/I/71bZ-wIni1L._SL1500_.jpg)

Selain itu, ESP32 juga memiliki keunggulan berupa jumlah pin input/output yang cukup banyak, konsumsi daya yang relatif rendah, serta kemampuan pemrosesan yang cepat sehingga cocok digunakan pada sistem monitoring pembangkit listrik skala kecil.

2.2.6.2 Sensor Tegangan

Sensor tegangan berfungsi untuk mengukur output tegangan dari generator pada sistem pembangkit. Prinsip dasar sensor tegangan didasarkan pada hukum Ohm dan pembagi tegangan (voltage divider), yang terdiri dari dua

resistor seri (R1 dan R2) untuk membagi tegangan input (V_{in}) menjadi tegangan output (V_{out}) yang lebih rendah rentang ADC[19]. Data hasil pengukuran kemudian dikirim ke mikrokontroler untuk diproses dan ditampilkan pada sistem monitoring. Parameter tegangan ini penting untuk analisis performa dan stabilitas sistem.



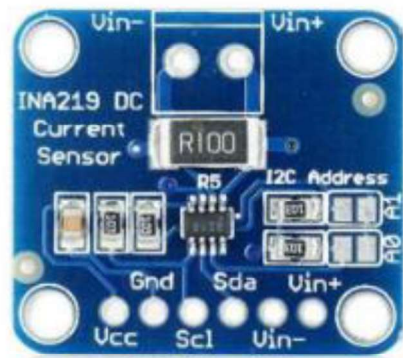
Gambar 2. 10 Sensor Tegangan DC 0-25V

(Sumber : https://www.static-src.com/wcsstore/Indraprastha/images/catalog/full/90/MTA-72118314/no-brand_modul-sensor-tegangan-dc-arduino_full01.jpg)

Modul sensor tegangan berfungsi untuk melakukan pengukuran tegangan dengan menggunakan rangkaian voltage divider. Pada prinsipnya, tegangan input dibagi oleh resistor sehingga menghasilkan tegangan keluaran sebesar $1/5$ dari tegangan masukan, sehingga aman untuk dibaca oleh mikrokontroler [20].

2.2.6.3 Sensor Arus

Sensor arus berfungsi untuk mengukur besar arus listrik yang mengalir pada sistem pembangkit. Cara kerja sensor ini memanfaatkan prinsip efek Hall, sehingga pengukuran arus dapat dilakukan tanpa harus bersentuhan langsung dengan penghantar listrik. Nilai arus yang diperoleh dari sensor tersebut kemudian dimanfaatkan untuk menentukan besarnya daya listrik yang dihasilkan oleh sistem pembangkit.



Gambar 2. 11 Sensor Arus INA219

(Sumber: <https://diyprojectslabs.com/wp-content/uploads/INA219-I2C-BI-DIRECTIONAL-DC-CURRENT-Sensor-module.jpg>)

Beberapa kemampuan utamanya mencakup pengukuran tegangan hingga 26V serta arus hingga 3,2A dengan tingkat ketelitian mencapai 0,5%. Selain itu, perangkat ini dilengkapi resistor shunt sebesar 0,1 ohm yang berperan penting dalam proses pengukuran tersebut. Dengan adanya penguat berpenguatan variabel dan ADC 12-bit, alat ini mampu menghasilkan data yang akurat dan terperinci, bahkan pada kondisi pengukuran yang cukup kompleks atau menuntut.

2.2.6.4 Sensor Kecepatan Putar (RPM Sensor)

Sensor kecepatan putar berfungsi untuk mengukur laju rotasi poros turbin atau generator. Pengukuran ini penting untuk mengetahui kinerja turbin serta tingkat efisiensi sistem pembangkit yang digunakan. Umumnya, sensor ini bekerja menggunakan prinsip optik atau efek Hall, yang mendeteksi jumlah putaran poros dalam interval waktu tertentu.



Gambar 2. 12 *Inductive Proximity Sensor DC6-36V LJ12A3-4-Z/BX*

(Sumber: <https://probots.co.in/pub/media/catalog/product/cache/d8ddd0f9b0cd008b57085cd218b48832/1/-/1-lj12a3-4-z-by-npn-switch-inductive-proximity-sensor-7.jpg>)

Inductive Proximity Sensor adalah perangkat pendeteksi yang berfungsi untuk mengidentifikasi keberadaan target logam (*ferrous* dan *non-ferrous*) tanpa memerlukan kontak fisik. Sensor ini beroperasi dengan cara menghasilkan medan elektromagnetik berfrekuensi tinggi melalui sebuah kumparan. Ketika sebuah material logam berada dalam jangkauan medan magnet ini, energi elektromagnetik akan menginduksi arus pada benda tersebut sehingga sensor dapat mendeteksinya.

2.2.6.5 Modul *Stepdown* LM2596 DC-DC

Modul *Step-Down* LM2596 merupakan perangkat konverter DC-to-DC tipe buck yang berpusat pada Integrated Circuit (IC) LM2596. Perangkat ini memiliki fungsi krusial untuk memangkas level tegangan arus searah (DC) dari sumber masukan yang bernilai tinggi menjadi tegangan keluaran yang lebih rendah. Selain menurunkan tegangan, modul ini juga dirancang untuk menahan fluktuasi sehingga tegangan yang dihasilkan tetap konstan dan stabil. Pada rancangan sistem monitoring PLTPH ini, suplai energi utama berasal dari baterai aki bertegangan 12V DC. Modul LM2596 dihubungkan secara langsung ke terminal kutub positif dan negatif baterai tersebut. IC LM2596 pada modul akan memotong (*chopping*) tegangan 12V dari baterai menggunakan frekuensi tinggi,

lalu menyaringnya menggunakan induktor dan kapasitor. Melalui proses tersebut, tegangan yang tadinya 12V dikonversi secara mutlak menjadi 5V DC.



Gambar 2. 13 Modul Step-Down LM2596

(Sumber: <https://potentiallabs.com/cart/image/cache/catalog/2021/Lm2596-step-down-module-550x550h.jpg>)

Dalam rancangan alat ini, tegangan 5V hasil konversi tersebut kemudian didistribusikan sebagai sumber daya utama untuk menyalakan mikrokontroler ESP32 melalui pin VIN dan juga menyuplai daya operasi untuk Inductive Proximity Sensor. Modul LM2596 memegang peranan yang sangat vital sebagai sistem proteksi dan manajemen daya (power management). Keberadaan modul ini sangat penting untuk mencegah kerusakan fatal pada ESP32, karena mikrokontroler tersebut hanya mampu menerima batas tegangan maksimal sebesar 5V. Jika tegangan 12V dari baterai dihubungkan secara langsung, maka ESP32 akan langsung mengalami kelebihan tegangan (overvoltage) dan terbakar.

2.2.6.6 Modul Komunikasi Data

Data yang diperoleh dari berbagai sensor kemudian dikirimkan ke platform monitoring melalui jaringan internet menggunakan modul komunikasi yang terintegrasi pada mikrokontroler ESP32. Sistem ini memungkinkan data dari pembangkit dapat dipantau secara real-time melalui aplikasi berbasis web

maupun smartphone. Salah satu aplikasi yang digunakan adalah Blynk, yaitu platform yang dirancang untuk mendukung sistem Internet of Things (IoT). Aplikasi ini memungkinkan pengguna untuk mengontrol perangkat keras dari jarak jauh, menampilkan data sensor secara langsung, menyimpan data, serta melakukan berbagai fungsi pemantauan dan kendali lainnya [21].

Terdapat tiga komponen utama dalam aplikasi ini yaitu:

1. Aplikasi *Blynk*

Aplikasi ini mengizinkan pengguna memiliki tampilan yang menarik bagi proyek yang sedang dikerjakan menggunakan *widget* yang telah disediakan.

2. *Blynk* Server

Komponen ini bertanggung jawab untuk semua komunikasi data yang terjadi antara piranti keras dan piranti lunak. Pengguna juga bisa memanfaatkan *Blynk Cloud* dan dijalankan dalam koneksi lokal. Komponen ini bersifat *open source*, kompatibel dengan banyak mesin, termasuk di antaranya adalah *Raspberry Pi*.

3. *Blynk Libraries*

Digunakan untuk mengizinkan terjadinya komunikasi di antara server dan semua perintah berupa proses masukan maupun keluaran,



Gambar 2. 14 Aplikasi Monitoring *Blynk*

(Sumber: <https://share.google/Mp3LOaBOPh39qq6Dq>)