

**PERENCANAAN SISTEM KONVERSI ENERGI AIR MENJADI  
ENERGI MEKANIK DAN LISTRIK DI KELURAHAN  
CAMPAGA KECAMATAN TOMPOBULU**

**WAHDANIA HAMZAH  
G041 19 1045**



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTANIAN  
DEPARTEMEN TEKNOLOGI PERTANIAN  
FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2023**

**PERENCANAAN SISTEM KONVERSI ENERGI AIR MENJADI  
ENERGI MEKANIK DAN LISTRIK DI KELURAHAN  
CAMPAGA KECAMATAN TOMPOBULU**

**WAHDANIA HAMZAH  
G041 19 1045**



Skripsi  
Sebagai salah satu syarat memperoleh gelar

Sarjana Teknologi Pertanian

Pada

Program Studi Teknik Pertanian

Departemen Teknologi Pertanian

Fakultas Pertanian

Universitas Hasanuddin

Makassar

**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTANIAN  
DEPARTEMEN TEKNOLOGI PERTANIAN  
FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2023**

## LEMBAR PENGESAHAN

### PERENCANAAN SISTEM KONVERSI ENERGI AIR MENJADI ENERGI MEKANIK DAN LISTRIK DI KELURAHAN CAMPAGA KECAMATAN TOMPOBULU

Disusun dan diajukan oleh

**WAHDANIA HAMZAH**

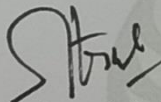
**G041 19 1045**

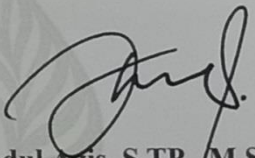
Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin pada tanggal 07 Juni 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping

  
Dr. Ir. Mahmud Achmad, M.P.  
NIP. 19700603 199403 1 003

  
Dr. Abdul Azis, S.TP., M.Si.  
NIP. 19821209 201212 1 004

Ketua Program Studi  
Teknik Pertanian

  
  
Dr. Yusema, S.TP., M.Agr., Ph.D.  
NIP. 19810129 200912 2 003

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Wahdania Hamzah  
NIM : G041 19 1045  
Program Studi : Teknik Pertanian  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa skripsi dengan judul Perencanaan Sistem Konversi Energi Air Menjadi Energi Mekanik Dan Listrik Di Kelurahan Campaga Kecamatan Tompobulu adalah karya saya sendiri dan tidak melanggar hak cipta pihak lain. Apabila dikemudian hari skripsi karya saya ini membuktikan bahwa sebagian atau keseluruhannya adalah hasil karya orang lain yang saya pergunakan dengan cara melanggar hak cipta pihak lain, maka saya bersedia menerima sanksi.

Makassar, 07 Juni 2023

Yang Menyatakan

A 10,000 Indonesian Rupiah postage stamp is placed over the signature. The stamp features the Garuda Pancasila emblem, the text '10000', 'METEPAI TEMPLIL', and the serial number 'PE 24AAKX437819347'.

Wahdania Hamzah

## ABSTRAK

WAHDANIA HAMZAH (G041 19 1045). Perencanaan Sistem Konversi Energi Air Menjadi Energi Mekanik Dan Listrik Di Kelurahan Campaga Kecamatan Tompobulu. Pembimbing: MAHMUD ACHMAD dan ABDUL AZIS.

Energi listrik yang ada saat ini berasal dari batu bara sehingga berdampak pada peningkatan emisi gas rumah kaca. Selain itu, sumber air dan energi listrik belum sepenuhnya dapat digunakan oleh seluruh masyarakat dikarenakan beberapa faktor seperti sulitnya akses menuju suatu pemukiman maupun faktor alam. Pengembangan energi terbarukan dapat dilakukan dengan memanfaatkan air sebagai sumber energinya. Tujuan dari penelitian ini yaitu pemanfaatan energi air yang tersedia menjadi energi listrik dan mekanik melalui perencanaan sistem konversi energi untuk memenuhi kebutuhan energi pada sistem pemompaan air dan pembangkit listrik. Penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi dan informasi untuk pengelola sumber daya di Kelurahan Campaga dalam perencanaan sistem konversi energi dalam pengelolaan dan pembuatan sistem pemompaan air dan sistem pembangkit listrik. Hasil penelitian menunjukkan aliran air permukaan yang dimanfaatkan dapat dikonversi menggunakan turbin dan generator. Potensi energi yang dihasilkan yaitu 3,903 kW untuk daya pompa dan 2,185 kW untuk daya listrik dengan debit rata-rata 0,134 m<sup>3</sup>/s. Sedangkan kebutuhan energi untuk sistem pompa yaitu 3 kW dan kebutuhan energi listrik untuk penerangan jalan sebesar 0,63 kW. Potensi energi yang dihasilkan lebih besar dari kebutuhan energi sehingga perencanaan pembuatan sistem pemompaan dan pembangkit listrik tenaga air dapat dilakukan.

**Kata Kunci:** Energi, Turbin, Generator.

## **ABSTRACT**

WAHDANIA HAMZAH (G041 19 1045). *The Planning of Hydro-Energy Conversion System to Mechanical and Electrical Energy in Campaga Village, Tompobulu District. Supervisors: MAHMUD ACHMAD and ABDUL AZIS.*

*The current electrical energy comes from coal, which has an impact on increasing greenhouse gas emissions. In addition, water sources and electrical energy have not been fully utilized by the entire community due to several factors such as difficult access to a settlement or natural factors. Renewable energy development can be done by utilizing water as an energy source. The purpose of this research is the utilization of available water energy into electrical and mechanical energy through energy conversion system planning to meet energy needs in water pumping systems and power plants. This research can be used as a reference and information for resource managers in Campaga Village in planning energy conversion systems in the management and manufacture of water pumping systems and power generation systems. The results showed that the surface water flow that is utilized can be converted using turbines and generators. The potential energy generated is 3.903 kW for pump power and 2.185 kW for electrical power with an average discharge of 0.134 m<sup>3</sup>/s. While the energy requirement for the pump system is 3 kW and the electrical energy requirement for street lighting is 0.63 kW. The potential energy generated is greater than the energy demand so that planning for the manufacture of pumping systems and hydropower plants can be carried out.*

**Keywords:** Energy, Turbine, Generator.

## PERSANTUNAN

Dengan Memanjatkan Puji dan syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan Rahmat dan Hidayah-Nya hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis mengakui dan menyadari selama penyusunan skripsi yang dilakukan tidak luput dari doa, bimbingan, arahan dan dukungan dari berbagai pihak. Dalam kesempatan ini dengan sepenuh hati, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada:

1. Ayahanda **Ir. H. Hamzah T** dan Ibunda **Wahida Syarief, SH** serta saudara saya atas doa, dukungan, nasehat, motivasi dan membantu penulis selama melaksanakan pendidikan hingga selesai.
2. **Dr. Ir. Mahmud Achmad, M.P.** dan **Dr. Abdul Azis, S.TP., M.Si.** selaku dosen pembimbing dengan segala waktu dan kesediannya dalam memberikan bimbingan, nasehat, saran dan petunjuk yang tiada hentinya kepada penulis hingga skripsi ini dapat selesai.
3. **Dr. Ir. Abdul Waris, M.T.** dan **Dr. Ir. Iqbal, S.TP., M.Si., IPM.** selaku dosen penguji yang telah banyak memberikan nasehat, motivasi, saran dan arahan kepada penulis.
4. **Dr. rer.nat. Olly Sanny Hutabarat, S.TP., M.Si.,** selaku pembimbing akademik dan **Dosen-dosen Program Studi Teknik Pertanian** yang telah banyak memberikan nasehat, motivasi dan ilmu selama masa perkuliahan.
5. **Teman-teman piston 2019,** sebagai teman angkatan yang menemani, menyemangati, mengarahkan serta mendukung penulis.
6. **Teman-teman KKNT MBKM mandiri** yang selalu memotivasi, menemani, dan mendukung dalam proses penelitian penulis.
7. **Muhammad Iqbal, Lutpiah Raodah, Rina Dewinta, Nurul Amalia** yang telah menemani, memotivasi, mendukung dan berdiskusi dengan penulis selama masa perkuliahan hingga saat ini.
8. **Kak Asman dan Kak Arif,** selaku mitra yang membantu dan mengarahkan penulis dalam melakukan penelitian.

Semoga Allah SWT senantiasa memberikan balasan atas segala kebaikan yang telah diberikan dan penulis berharap skripsi ini dapat memberikan informasi, ilmu dan pengetahuan. Aamiin.

Makassar, 07 Juni 2023

Wahdania Hamzah

## RIWAYAT HIDUP



**WAHDANIA HAMZAH** lahir di Makassar pada tanggal 08 Mei 2001, anak ketiga dari tiga bersaudara pasangan dari bapak Hamzah Tajuddin dan Ibu Wahida Syarief. Adapun jenjang pendidikan formal yang pernah dilalui adalah:

1. Memulai pendidikan TK Shinta Utama pada tahun 2006 sampai tahun 2007.
2. Melanjutkan pendidikan di SD INP. Unggulan Puri Taman Sari, pada tahun 2007 sampai tahun 2013.
3. Melanjutkan pendidikan di SMPN 13 Makassar pada tahun 2013 sampai tahun 2016.
4. Melanjutkan pendidikan di SMAN 2 Makassar pada tahun 2016 hingga tahun 2019.
5. Melanjutkan pendidikan di Universitas Hasanuddin Makassar, Fakultas Pertanian, Departemen Teknologi Pertanian, Program Studi Keteknikan Pertanian pada tahun 2019 sampai tahun 2023.

Selama menempuh perkuliahan, penulis aktif berorganisasi di dalam kampus yaitu di Himpunan Mahasiswa Teknologi Pertanian (HIMATEPA-UH). Penulis juga pernah mengikuti magang di salah satu unit pelaksana teknis dinas yaitu Balai Pengujian dan Sertifikasi Mutu Barang (BPSMB).



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
PERNYATAAN KEASLIAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
ABSTRAK .....	v
<i>ABSTRACT</i> .....	vi
PERSANTUNAN .....	vii
RIWAYAT HIDUP .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan dan Kegunaan Penelitian .....	2
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Energi .....	3
2.2 Jenis-jenis Energi.....	4
2.2.1 Energi Tidak Terbarukan .....	4
2.2.2 Energi Terbarukan.....	4
2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Air .....	6
2.3.1 Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH).....	7
2.3.2 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) .....	7
2.3.3 Pembangkit Listrik Tenaga <i>Minihydro</i> (PLTM).....	8
2.3.4 Pembangkit Listrik Tenaga <i>Small-Hydro</i> .....	8
2.3.5 Pembangkit Listrik Tenaga <i>Large-Hydro</i> .....	8
2.4 Konversi Energi Air Menjadi Energi Listrik.....	8
2.5 Sistem Transmisi .....	10
2.6 Turbin .....	10
2.6.1 Turbin Impuls .....	11

2.6.2 Turbin Reaksi .....	14
2.6.3 Daerah Operasi Turbin .....	15
2.7 Generator .....	16
2.8 Debit .....	17
2.9 Tinggi Jatuh Air .....	19
2.10 Pompa .....	21
2.10.1 Pompa Sentrifugal .....	21
2.10.2 Pompa Tipe Sprayer .....	22
2.11 Kebutuhan Energi Listrik.....	23
3. METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1 Waktu dan Tempat .....	25
3.2 Alat .....	25
3.3 Bahan.....	25
3.4 Metode Penelitian .....	25
3.4.1 Persiapan.....	25
3.4.2 Jenis Data Penelitian .....	26
3.4.3 Pengambilan dan Pengolahan Data .....	26
3.4.4 Analisa Data .....	27
3.4.5 Kebutuhan Energi .....	29
3.5 Bagan Alir .....	30
4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1 Deskripsi Wilayah .....	31
4.2 Potensi Energi.....	32
4.2.1 Kecepatan Aliran Sungai .....	32
4.2.2 Luas Penampang Aliran .....	32
4.2.3 Data Curah Hujan .....	33
4.2.4 Debit .....	34
4.2.5 Tinggi Jatuh Air ( <i>Head</i> ) .....	35
4.2.6 Daya .....	36
4.3 Kebutuhan Energi .....	37
4.4 Perencanaan .....	37
4.4.1 Perencanaan Turbin.....	37

4.4.2 Perencanaan Pompa .....	38
4.4.3 Perencanaan Pembangkit Listrik.....	38
4.4.4 Rangkaian Perencanaan Sistem .....	39
5. PENUTUP .....	40
Kesimpulan .....	40
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Turbin <i>crossflow</i> . .....	12
Gambar 2. Turbin pelton. ....	13
Gambar 3. Turbin turgo. ....	13
Gambar 4. Kincir air <i>overshot</i> . ....	14
Gambar 5. Turbin francis. ....	15
Gambar 6. Turbin kaplan. ....	15
Gambar 7. Pompa sentrifugal. ....	22
Gambar 8. Pompa tipe <i>sprayer</i> . ....	22
Gambar 9. Bagan alir penelitian .....	30
Gambar 10. Peta lokasi penelitian .....	31
Gambar 11. Grafik curah hujan 6 tahun terakhir .....	33
Gambar 12. Grafik hubungan antar curah hujan dengan debit aliran .....	34
Gambar 13. Rangkaian perencanaan sistem konversi energi .....	39

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Klasifikasi turbin air berdasarkan daerah operasi turbin. ....	15
Tabel 2. Klasifikasi aliran sungai.....	17
Tabel 3. Faktor koreksi untuk tiap jenis saluran.....	18
Tabel 4. Klasifikasi <i>head</i> .....	19
Tabel 5. Koefisien kekasaran pipa.....	20
Tabel 6. Hasil perhitungan kecepatan aliran.....	32
Tabel 7. Hasil perhitungan luas penampang aliran. ....	33
Tabel 8. Hasil perhitungan debit.....	34
Tabel 9. Hasil perhitungan <i>head losses</i> .....	35
Tabel 10. Hasil perhitungan <i>head efektif</i> .....	35
Tabel 11. Hasil perhitungan potensi energi. ....	36
Tabel 12. Kebutuhan energi. ....	37
Tabel 13. Spesifikasi generator AC.....	38
Tabel 14. Hasil pemanfaatan energi.....	39

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pengukuran Kecepatan Aliran.....	45
Lampiran 2. Pengukuran Luas Penampang Aliran.....	47
Lampiran 3. Data Rata-rata Curah Hujan Tahun 2018 sampai 2023 .....	49
Lampiran 4. Perhitungan <i>Head Losses</i> .....	49
Lampiran 5. Perhitungan <i>Head Effectif</i> .....	49
Lampiran 6. Perhitungan Potensi Energi.....	49
Lampiran 7. Perhitungan Kebutuhan Energi .....	50
Lampiran 8. Dokumentasi Penelitian .....	51

# 1. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Energi berasal dari alam yang kemudian akan dimanfaatkan seiring berkembangnya teknologi. Teknologi-teknologi baru tersebut dibuat berdasarkan semakin meningkatnya kebutuhan masyarakat yang harus dipenuhi, seperti air dan energi listrik. Fosil merupakan sumber energi listrik terbesar di Indonesia saat ini yang keberadaannya semakin berkurang dan dapat habis dalam jangka waktu tertentu. Selain itu, penggunaan fosil memberi dampak bagi lingkungan seperti pencemaran udara, pemanasan global dan kerusakan ekosistem.

Energi listrik yang ada saat ini berasal dari batu bara sehingga sangat berdampak pada peningkatan emisi gas rumah kaca. Selain itu, sumber air dan energi listrik belum sepenuhnya dapat digunakan oleh seluruh masyarakat dikarenakan beberapa faktor seperti sulitnya akses menuju suatu pemukiman maupun lahan perkebunan masyarakat sehingga terkendala dalam proses penyaluran air dan energi listrik ke rumah warga dan area-area kebun, maupun faktor alam. Faktor-faktor tersebut menjadi acuan diperlukannya suatu pengembangan dengan memanfaatkan energi terbarukan dengan memperhatikan kebutuhan, sarana maupun prasarana pada wilayah pengembangan. Salah satu upaya pemerintah Indonesia dalam mengatasi permasalahan yang ada melalui Peraturan Presiden Nomor 112 Tahun 2022 tentang Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik Dalam Upaya Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (Alam & Fansuri, 2022).

Pengembangan energi terbarukan dapat dilakukan dengan memanfaatkan air sebagai sumber energinya. Air termasuk salah satu sumber energi terbarukan yang sangat melimpah sehingga tidak akan pernah habis dan dalam proses pemanfaatannya tidak menimbulkan dampak yang besar bagi lingkungan. Pemanfaatan air dapat dilakukan dengan pembuatan sistem pemompaan air dan pembangkit listrik sehingga energi yang dihasilkan dapat dialokasikan pada suatu wilayah dan bermanfaat bagi masyarakat (Taufiqurrahman & Windarta, 2020).

Sistem pemompaan air dan sistem pembangkit listrik dibuat berdasarkan keadaan suatu wilayah bahwa terdapat air yang mengalir dalam debit dan beda

ketinggian tertentu sehingga air yang mengalir tersebut memiliki kecepatan yang mampu memutar turbin. Pada proses pembuatan sistem ini diperlukan suatu perencanaan sistem konversi energi air menjadi energi mekanik dan energi listrik sehingga didapatkan efisiensi dari turbin, pompa air dan generator yang digunakan serta daya yang dapat dihasilkan oleh sistem tersebut berdasarkan data yang didapatkan. Data-data yang dihasilkan kemudian digunakan dalam proses perencanaan pembuatan sistem pemompaan air dan pembangkit listrik.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini berinovasi dalam menciptakan energi yang tidak bersifat merusak lingkungan. Berdasarkan Peraturan Presiden No. 112 Tahun 2022 yang menghimbau masyarakat untuk memanfaatkan energi terbarukan dalam upaya untuk mengurangi efek gas rumah kaca, sehingga penelitian ini memanfaatkan salah satu energi terbarukan dalam menghasilkan energi listrik dan dilakukan penelitian mengenai Perencanaan Sistem Konversi Energi Air menjadi Energi Mekanik dan Listrik di Kelurahan Campaga, Kecamatan Tompobulu.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan permasalahan yang ada maka disusunlah rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana bentuk perencanaan sistem konversi energi air yang efektif?
2. Bagaimana pengukuran potensi energi dan kebutuhan energi?
3. Apakah potensi energi dapat memenuhi kebutuhan energi?

## **1.3 Tujuan dan Kegunaan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini yaitu pemanfaatan energi air menjadi energi listrik dan energi mekanik melalui perencanaan sistem konversi energi untuk memenuhi kebutuhan energi pada sistem pemompaan air dan pembangkit listrik.

Kegunaan dari penelitian ini yaitu sebagai referensi dan informasi bagi pengelola sumber daya di Kelurahan Campaga dalam perencanaan sistem konversi energi dalam pengelolaan dan pembuatan sistem pemompaan air dan sistem pembangkit listrik.



## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Energi

Energi atau *energia* berasal dari bahasa Yunani yang berarti aktivitas. Energi merupakan kekuatan atau kemampuan suatu objek untuk melaksanakan kerja. Energi adalah sumber daya berupa bahan bakar, listrik, panas dan air yang digunakan untuk melakukan berbagai kerja atau dalam proses suatu kegiatan. Sumber energi merupakan segala sesuatu yang mampu menghasilkan energi secara langsung atau melalui proses konversi dan transformasi. Sumber energi terdiri atas beberapa jenis yaitu minyak bumi, air, batu bara, gas, panas bumi, angin, gambut dan biomassa, yang dapat digunakan sebagai penghasil energi secara langsung maupun tidak langsung (Azhar & Satriawan, 2018).

Energi termasuk salah satu sumber yang menunjang aktivitas masyarakat terutama dalam kegiatan perekonomian, bisnis, rumah tangga, transportasi, dan industri. Sumber daya tidak terbarukan yang penggunaan energinya sangat besar saat ini berasal dari bahan bakar fosil. Kebutuhan energi diseluruh penjuru terus mengalami peningkatan, namun suplai energi tidak terbarukan jumlahnya terus mengalami penurunan. Penggunaan bahan bakar tidak terbarukan seperti fosil sebagai sumber energi memberi dampak terhadap peningkatan karbon di atmosfer sehingga dapat menyebabkan pemanasan global. Mengurangi dampak dari penggunaan energi tidak terbarukan dapat dilakukan dengan memanfaatkan energi alternatif. Salah satu alternatif dalam penyediaan dan pemanfaatan energi yaitu dengan penggunaan energi terbarukan yang tidak berdampak pada lingkungan dan dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan (Setyono, Mardiansjah, & Astuti 2019).

*Institute Essential Services Reform (IESR)* menjelaskan bahwa negara yang menunjukkan kerentanan ketahanan energi yang berbasis fosil salah satunya Indonesia, dimana 67% bauran energi berasal dari energi fosil. Dampak dari krisis energi dapat terlihat pada harga energi yang naik 2-4 kali pada pertengahan tahun 2022. Solusi jangka pendek yang dibuat pemerintah Indonesia untuk mengatasi permasalahan krisis energi yaitu dengan menetapkan berbagai keputusan salah satunya mempertahankan kebijakan *Domestic Market Obligation (DMO)* dan menyalurkan subsidi energi fosil. Namun, kebijakan ini tidak berdampak besar

pada penurunan penggunaan minyak, batu bara dan gas sebagai sumber energi setiap tahunnya. Penyediaan energi yang terjangkau dan aman dapat diwujudkan dengan pemanfaatan energi terbarukan dalam bidang industri, transportasi dan penyediaan listrik, sehingga dapat mengurangi penggunaan energi fosil. Transisi energi yang dilakukan bertahap dengan memanfaatkan energi terbarukan dapat meningkatkan keamanan energi dan menurunkan harga energi yang tersedia di Indonesia menjadi semakin murah (Simanjuntak, 2022).

## **2.2 Jenis-jenis Energi**

Energi merupakan suatu kemampuan dalam melakukan suatu kerja maupun usaha. Secara umum sumber energi terbagi menjadi energi tidak terbarukan atau keberadaannya terbatas dan energi terbarukan yang keberadaan sumber energinya sangat melimpah dan dijelaskan secara terperinci sebagai berikut:

### **2.2.1 Energi Tidak Terbarukan**

Energi tidak terbarukan merupakan energi yang tidak dapat diperbarui dan sangat terbatas. Berbagai negara di dunia menggunakan energi tidak terbarukan sebagai sumber energi utama. Sumber energi tidak terbarukan berasal dari mineral alam dan fosil seperti batu bara dan minyak bumi. Energi tidak terbarukan yang berasal dari mineral alam dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi setelah melalui beberapa proses terlebih dahulu (Nurlaila & Yuianto, 2019).

### **2.2.2 Energi Terbarukan**

Energi terbarukan merupakan sumber energi yang sangat melimpah dan berasal dari alam sehingga dapat dimanfaatkan secara terus menerus. Energi terbarukan dikatakan ramah lingkungan karena tidak berkontribusi terhadap perubahan iklim ekstrem dan pemanasan global. Selain itu, energi terbarukan tidak akan pernah habis karena sumber energinya berasal dari alam seperti radiasi matahari, angin, pasang surut, biomassa dan air. Penggunaan istilah energi terbarukan ini untuk memberikan alternatif atas ketergantungan terhadap penggunaan energi yang berasal dari bahan bakar fosil yang dapat habis dalam jangka waktu tertentu (Harjanne & Korhonen, 2019).

#### 2.2.2.1 Energi Surya

Energi surya termasuk salah satu energi terbarukan yang berasal dari energi matahari dan dapat dimanfaatkan secara langsung. Pemanfaatan energi ini dapat dilakukan untuk menghasilkan listrik, pemanasan, pengeringan dan desalinasi. Pembangkit listrik tenaga surya memiliki komponen utama yang terdiri dari panel surya, inverter, *solar charger controller*, konektor dan perlengkapan mekanis lainnya. Prinsip kerja dari pembangkit listrik dengan memanfaatkan energi surya yaitu panel surya menangkap energi matahari kemudian mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik dan digunakan *solar charger controller* untuk mengatur kelebihan pengisian pada baterai dan mengatur arus searah. Energi listrik yang dihasilkan akan tersimpan pada baterai atau aki sehingga tetap bisa digunakan saat malam hari atau kondisi gelap (Utari *et al.*, 2018).

#### 2.2.2.2 Energi Angin

Energi angin merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang berasal dari alam dan tidak akan habis sehingga dapat terus dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik. Pembangkit listrik dengan memanfaatkan tenaga angin mengalami proses konversi energi yaitu kecepatan angin dikonversi menjadi energi kinetik kemudian akan memutar kincir dan diteruskan untuk memutar generator sehingga akan menghasilkan energi listrik (Mulkan *et al.*, 2022).

#### 2.2.2.3 Energi Biomassa

Biomassa merupakan bahan organik yang berasal dari tanaman, rumput, pepohonan, limbah pertanian dan feses. Biomassa dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi, bahan pangan dan pakan ternak. Penggunaan biomassa untuk menghasilkan energi listrik terjadi melalui proses konversi energi yaitu dengan membakar biomassa sehingga menghasilkan uap didalam boiler kemudian uap akan diteruskan untuk memutar turbin dan generator sehingga mengalami proses konversi energi mekanik menjadi energi listrik (Parinduri & Taufik, 2020).

#### 2.2.2.4 Energi Panas Bumi

Sumber energi panas bumi berasal dari sub-sub permukaan bumi atau perut bumi. Emisi gas rumah kaca yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga panas bumi umumnya lebih rendah jika dibandingkan dengan pembangkit listrik yang

berasal dari energi fosil. Pembangkit listrik tenaga panas bumi memiliki prinsip kerja yaitu dilakukan proses pengumpulan uap dan penstabil tekanan, pemisahan uap dari zat padat atau benda asing, sehingga uap yang dihasilkan dapat dimanfaatkan untuk memutar turbin dan diteruskan untuk memutar generator sehingga terjadi proses konversi energi mekanik menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan untuk kepentingan umum (Mazaya & Kurniawan, 2022).

#### 2.2.2.5 Energi Pasang Surut

Kondisi pasang surut air laut dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik. Potensi energi listrik yang dihasilkan berasal dari ombak atau gelombang (*wave energy*), hasil konversi energi panas laut (*ocean thermal energy conversion*), dan energi pasang surut atau *tidal energy*. Pada pembangkit listrik pasang surut, turbin di pasang pada pertemuan antara laut dan muara sungai sehingga energi potensial yang dihasilkan dari pasang surut air laut akan memutar turbin dan diteruskan untuk memutar generator sehingga terjadi proses konversi energi dan menghasilkan energi listrik (Syarifudin *et al.*, 2015).

#### 2.2.2.6 Energi Air

Sumber energi yang berasal dari alam dan tidak akan habis sehingga dapat dimanfaatkan secara terus menerus salah satunya adalah air. Pemanfaatan aliran air sebagai energi terbarukan dapat dilakukan pada aliran sungai. Potensi sumber energi terbarukan yang berasal dari aliran sungai dapat dimanfaatkan dengan menggunakan aliran sungai yang bergerak dari tempat yang lebih tinggi menuju ke tempat yang lebih rendah yang mengalir dari hulu menuju ke hilir sehingga tenaga air yang dihasilkan oleh aliran sungai cukup tinggi untuk memutar turbin yang kemudian diteruskan untuk memutar generator sehingga terjadi proses konversi energi mekanik menjadi energi listrik (Suyanta *et al.*, 2018).

### 2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Air

Pembangkit listrik tenaga air bekerja dengan memanfaatkan aliran air yang memiliki debit tertentu sehingga terjadi konversi energi potensial menjadi energi kinetik dan menghasilkan energi listrik. PLTA dibuat dengan memanfaatkan waduk, sungai, bendungan, air terjun, maupun ombak di wilayah pesisir. Prinsip kerja dari PLTA yaitu air yang dibendung akan menghasilkan energi potensial dan

energi kinetik karena adanya beda ketinggian terhadap turbin. Turbin akan berputar disebabkan oleh kecepatan aliran air, putaran turbin kemudian diteruskan menggunakan sistem transmisi seperti *pully* dan *v-belt* untuk memutar generator sehingga energi mekanik yang dihasilkan akan dikonversi oleh generator menjadi energi listrik (Widharma *et al.*, 2021).

Pembangkit listrik tenaga air dapat dibedakan berdasarkan daya *output* yang dihasilkan, yaitu sebagai berikut:

### 2.3.1 Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH)

Pembangkit listrik tenaga pikohidro merupakan salah satu pembangkit listrik yang memanfaatkan tenaga air dan memiliki daya *output* dari ratusan Watt hingga 5 kW. Pikohidro dan pembangkit listrik tenaga air lainnya disebut *clean energy* karena sumber utama energinya berasal dari alam. *Output* air yang digunakan untuk memutar turbin dari sistem pembangkit listrik ini dapat dimanfaatkan kembali, sehingga dapat dibangun di lingkungan masyarakat. Pembangkit listrik tenaga pikohidro terdiri dari tiga komponen utama pada sistem pembangkitnya yaitu penggerak mula yang berasal dari energi air, turbin air yang berfungsi untuk mengubah energi potensial menjadi energi kinetik, dan generator untuk mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik (Nakhoda *et al.*, 2018).

### 2.3.2 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro merupakan pembangkit listrik bertegangan rendah yang efisien untuk daerah yang sulit di akses sumber listrik, pedesaan terpencil dan berbukit dengan memanfaatkan beda ketinggian pada aliran sungai. Mikrohidro digunakan untuk menghasilkan energi listrik yang cukup bermanfaat dan dapat dialokasikan pada akses umum desa, rumah, pertanian dan perkebunan pada suatu desa. Mikrohidro juga dapat digunakan dalam penggerak mekanis dalam *agro-processing*, proses fabrikasi, pendinginan dan pengeringan. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro menghasilkan daya antara 5-100 kW (Elbatran *et al.*, 2015).

### 2.3.3 Pembangkit Listrik Tenaga *Minihydro* (PLTM)

Pembangkit listrik tenaga *minihydro* (PLTM) merupakan salah satu pembangkit yang memanfaatkan energi aliran air kemudian akan memutar turbin air yang terpasang pada generator listrik sehingga menghasilkan energi listrik. Daya *output* yang dapat dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga minihidro yaitu 100 kW-1 MW. PLTM tidak memberi dampak emisi gas rumah kaca yang termasuk salah satu penyebab utama keprihatinan internasional tentang masalah lingkungan. PLTM merupakan sumber energi terbarukan, ramah lingkungan dan bersih karena tidak menghasilkan limbah maupun polusi udara (Jamali, 2014).

### 2.3.4 Pembangkit Listrik Tenaga *Small-Hydro*

*Small hydropower* merupakan pembangkit listrik yang menghasilkan daya *output* 1-15 MW. Faktor utama dalam pembuatan pembangkit listrik *small hydro* adalah aliran air yang mampu memutar turbin, ketinggian aliran yang berbeda, kecepatan aliran yang akan dimanfaatkan, serta turbin yang digunakan. Turbin yang digunakan merupakan jenis turbin yang sesuai dengan sistem pembangkit listrik yang dibuat (Hammid *et al.*, 2018).

### 2.3.5 Pembangkit Listrik Tenaga *Large-Hydro*

*Large hydropower plant* merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan tenaga air dengan daya *output* yang besar yaitu lebih dari 100 MW. Pembangkit listrik *large hydro* dapat dijumpai pada negara-negara maju, salah satunya China. Pembangkit listrik tenaga air terbesar di China memiliki kapasitas 3300 MW. Kapasitas yang besar menyebabkan proses pemenuhan kebutuhan air waduk memerlukan waktu beberapa minggu (Wang *et al.*, 2019).

## 2.4 Konversi Energi Air Menjadi Energi Listrik

Pengetahuan teknologi dan fisika mengartikan konversi energi sebagai kemampuan dalam melakukan suatu kerja. Energi yang berasal dari alam merupakan suatu besaran yang kekal (hukum termodinamika pertama). Energi dapat diubah atau disebut konversi dari energi yang satu ke bentuk energi yang lain namun energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan. Terdapat

istilah lain dalam energi yaitu kalor. Kalor merupakan proses berpindahanya energi yang terjadi akibat adanya perbedaan temperatur. Perpindahan energi juga dapat terjadi akibat gaya yang menyebabkan pergeseran posisi benda dari satu sistem ke sistem lain. Kemampuan suatu sistem dalam menghasilkan kerja yang bermanfaat secara terus menerus atau dalam jangka waktu tertentu untuk kebutuhan manusia disebut dengan transfer energi (Siregar, 2020).

Proses konversi energi pada pembangkit listrik dapat terjadi dengan memanfaatkan energi hidrolis, beda ketinggian jatuh air, dan debit air. *Hydraulic energy* merupakan kemampuan suatu aliran air dalam melakukan kerja atau usaha. Sedangkan kerja atau usaha adalah banyaknya energi yang terpakai per satuan waktu. Menurut (Barry *et al.*, 2020) Terdapat beberapa jenis energi yang melalui proses konversi yaitu:

a. Energi Potensial

Energi potensial merupakan energi yang berasal dari perbedaan ketinggian atau tekanan yang bekerja didalam air. Energi potensial tekanan merupakan energi yang terdapat dalam partikel air dengan tekanan yang bersesuaian. Energi potensial dapat dihitung berdasarkan Persamaan 1.

$$E_p = m \times g \times h \quad (1)$$

Keterangan:

$E_p$  = Energi potensial tekanan (joule)

$m$  = Massa (kg)

$g$  = Gravitasi ( $m/s^2$ )

$h$  = Ketinggian (m)

b. Energi Kinetik

Energi kinetik merupakan energi yang terdapat dalam suatu benda yang diakibatkan oleh tenaga gerak. Energi kinetik pada pembangkit listrik tenaga air yaitu energi yang ada akibat dari aliran air dalam pipa. Energi kinetik dapat dihitung berdasarkan Persamaan 2.

$$E_K = \frac{1}{2} \times m \times v^2 \quad (2)$$

Keterangan:

$E_K$  = Energi kinetik hidrolis (joule)

$v$  = Kecepatan aliran (m/s)

$m$  = Massa benda (kg)

### c. Energi Mekanik

Energi mekanik merupakan jumlah dari energi potensial dan energi kinetik. Energi mekanik disebut sebagai energi yang dimiliki oleh benda karena gerak dan kedudukannya. Pada sistem pembangkit listrik tenaga air, energi ini akan diubah atau dikonversi oleh turbin menjadi energi mekanik. Energi mekanik dapat dihitung berdasarkan Persamaan 3.

$$EM = EP + EK \quad (3)$$

Keterangan:

EM = Energi mekanik (joule)

EP = Energi potensial (joule)

EK = Energi kinetik (joule)

## 2.5 Sistem Transmisi

Sistem transmisi merupakan suatu sistem yang dapat digunakan untuk mengubah atau mengkonversi torsi atau putaran mesin menjadi torsi dengan kecepatan yang berbeda yang kemudian akan diteruskan menuju penggerak akhir. Sistem konversi yang terjadi menyebabkan perubahan kecepatan putar yang awalnya tinggi berubah menjadi lebih rendah. Pada pembangkit listrik, turbin maupun kincir yang berputar akan dikopelkan atau disambungkan langsung dengan generator. Sebelum disambungkan ke generator, terlebih dahulu dilakukan pertimbangan dan pengukuran torsi turbin atau kincir air yang digunakan dengan kecepatan generator, jika terdapat perbedaan kecepatan maka dalam proses pengkopelannya dapat dilakukan dengan menggunakan sistem transmisi mekanik seperti *pully*, *belt* maupun garden (*differential*) (Suprayogo, 2020).

## 2.6 Turbin

Turbin merupakan komponen sistem pembangkit listrik yang dapat digunakan untuk mengkonversi energi kinetik menjadi energi mekanik. Prinsip kerja turbin yaitu air yang mengalir diarahkan pada sudu-sudu turbin sehingga menghasilkan torsi yang menyebabkan roda dapat berputar pada porosnya, kemudian putaran turbin digunakan untuk memutar generator pada sistem pembangkit listrik. Penggunaan *pulley* dan *v-belt* dalam sistem pembangkit listrik yaitu untuk meneruskan torsi dari turbin ke generator yang memiliki jarak maupun ukuran



tertentu. Turbin termasuk komponen atau perangkat mekanika yang terdiri dari poros turbin dan sudu-sudu atau *blade* (Yani *et al.*, 2018).

Menurut Saleh *et al.* (2019), daya turbin dapat dihitung berdasarkan nilai massa jenis air, debit, gravitasi, *head* maupun efisiensi turbin dan dapat dihitung berdasarkan Persamaan 4.

$$P_t = \rho \times Q \times g \times H \times \eta_t \quad (4)$$

Keterangan:

- $P_t$  = Daya turbin (kW)
- $\rho$  = Massa jenis air ( $\text{kg/m}^3$ )
- $Q$  = Debit ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
- $g$  = Gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )
- $H$  = *Head* (m)
- $\eta_t$  = Efisiensi turbin (%)

Perhitungan daya turbin memerlukan nilai massa jenis air dan efisiensi turbin. Massa jenis atau densitas didefinisikan sebagai sifat suatu bahan. Setiap bahan memiliki massa jenis yang berbeda namun beberapa bahan memiliki massa jenis yang sama seperti besi dan baja. Massa jenis pada air memiliki nilai yang berbeda yaitu massa jenis pada air sungai sebesar  $1.000 \text{ kg/m}^3$  dan massa jenis pada air laut sebesar  $1.030 \text{ kg/m}^3$  (Kasli & Aminullah, 2016).

Efisiensi turbin merupakan presentase banyaknya energi potensial yang mampu dikonversi menjadi energi mekanik oleh turbin. Efisiensi turbin dapat dihitung berdasarkan jenis turbin yang digunakan, namun menurut Ointu, Surusa, and Zainuddin (2020) jika jenis turbin belum diketahui dapat digunakan nilai efisiensi terendah pada turbin yaitu sebesar 70%.

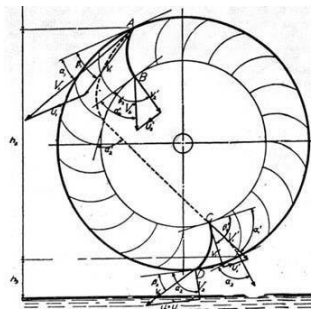
### 2.6.1 Turbin Impuls

Turbin impuls merupakan jenis turbin air yang memiliki prinsip kerja mengubah energi potensial air berupa tekanan dan kecepatan pada aliran air yang tersedia menjadi energi mekanik untuk memutar turbin. *Nozzle* berfungsi untuk mengkonversi energi potensial air menjadi energi kinetik. Air yang keluar melalui *nozzle* memiliki kecepatan tinggi sehingga akan membentur sudu turbin dan tekanan konstan saat melalui *runner* dan keluar dari *runner*. Arah kecepatan aliran akan berubah setelah membentur sudu sehingga terjadi perubahan momentum dan roda turbin akan berputar (Kurniady *et al.*, 2019).

Turbin impuls terdiri atas beberapa jenis yaitu turbin *crossflow*, turbin pelton, turbin turgo dan kincir air yang memiliki ciri sebagai berikut:

#### 2.6.1.1 Turbin *Crossflow*

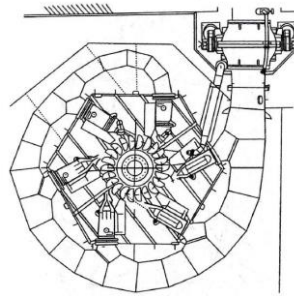
Turbin *crossflow* merupakan salah satu jenis turbin yang memiliki tipe aliran radial. Turbin *crossflow* dapat digunakan pada *head* antara 1-200 m dengan daya 5-100 kW dan debit air 20-10.000 l/s. Turbin *crossflow* memiliki *nozzle* berbentuk persegi panjang dengan ukuran yang sesuai dengan lebar *runner*. Aliran air masuk dan membentur sudu sehingga turbin akan berputar dan terjadi proses konversi energi kinetik menjadi energi mekanik. Air mengalir keluar dan memberikan energi yang lebih rendah dibanding pada saat masuk, kemudian air meninggalkan turbin (Saleh *et al.*, 2019).



Gambar 1. Turbin *crossflow*.  
(Saleh *et al.*, 2019)

#### 2.6.1.2 Turbin Pelton

Turbin pelton merupakan turbin impuls yang memiliki jet penyemprot air sehingga dapat memutar piringan. Turbin pelton dapat beroperasi pada tinggi jatuh yang besar dengan ketinggian air atau *head* sebesar 200-2000 m dan debit air sebesar 4-15 m<sup>3</sup>/s. Tinggi jatuh air atau *head* dihitung mulai dari titik awal sampai tengah pancaran air. Aliran air yang mengalir melalui sudu-sudu pada turbin pelton tidak mengalami penurunan tekanan sehingga turbin ini termasuk jenis turbin impuls atau tekanan sama. Perubahan tekanan terjadi pada bagian pengatur atau pengarah pancaran pada *nozzle*. Bentuk sudu turbin pelton terbelah menjadi dua bagian yang simetris, sehingga dapat membalikkan pancaran air dengan baik. Turbin jenis ini dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik dengan kapasitas yang sangat besar pada tenaga air tekanan tinggi. Turbin pelton memiliki empat sampai dengan enam *nozzle* (Simamora, 2017).



Gambar 2. Turbin pelton.  
(Simamora, 2017)

#### 2.6.1.3 Turbin Turgo

Turbin turgo merupakan turbin impuls yang memiliki bentuk sudu berbeda dengan turbin pelton. Kecepatan putar turbin turgo juga lebih besar dibandingkan dengan turbin pelton dan turbin ini dapat bekerja pada tinggi jatuh air menengah antara 15 m sampai dengan 300 m. Pancaran air yang keluar melalui *nozzle* akan membentur sudu pada sudut  $20^\circ$ . Turbin turgo mampu menampung air yang tidak terbatas sehingga menghasilkan kecepatan putar lebih besar. Turbin ini memungkinkan terjadinya transmisi langsung dari turbin menuju generator sehingga dapat meningkatkan efisiensi sistem dan menurunkan biaya perawatan pada sistem (Bono *et al.*, 2020).

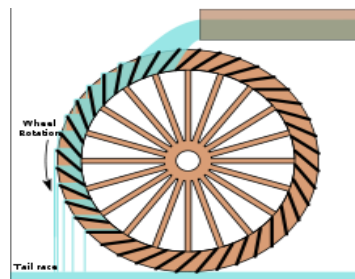


Gambar 3. Turbin turgo.  
(Sumber: Bono *et al.*, 2020)

#### 2.6.1.4 Kincir Air

Prinsip kerja kincir air yaitu air yang melalui kincir air akan menumbuk mangkuk atau sudu kincir yang dipasang pada roda berputar sehingga akan terjadi konversi energi kinetik menjadi energi mekanik. Kincir air memerlukan sebuah alat untuk menambah kecepatan putar kincir sehingga dapat mencapai putaran generator. Kincir air memiliki diameter besar dan bentuk yang sederhana. Penggunaan kincir air dengan diameter besar dan kecepatan putaran yang rendah dilakukan pada tinggi jatuh air atau *head* dan kapasitas kecil. Pemanfaatan energi

air sebagai pembangkit listrik skala kecil dapat dilakukan dengan menggunakan kincir air dan turbin. Berdasarkan sistem aliran airnya, kincir air terbagi menjadi tiga jenis, yaitu *breast-shot*, *overshot*, dan *under-shot*. Pada kincir *breast-shot*, kincir dipasang sejajar dengan aliran air sehingga air akan mengalir melalui tengah kincir dan memutar kincir berlawanan dengan arah jarum jam. Prinsip kerja kincir *overshot* yaitu air mengalir melalui atas kincir dan memutar kincir searah jarum jam sehingga air akan jatuh menuju permukaan yang lebih rendah. Kincir *under-shot* diletakkan dengan bagian bawah kincir sedikit menyentuh air sehingga kincir akan bergerak berlawanan arah jarum jam. Kincir *under-shot* akan bergerak mengikuti ketinggian aliran air (Sauf *et al.*, 2019).



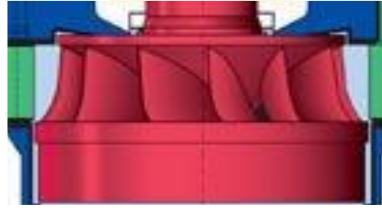
Gambar 4. Kincir air *overshot*.  
(Sumber: Wahyudi & Cahyadi, 2012)

## 2.6.2 Turbin Reaksi

Turbin reaksi merupakan jenis turbin yang proses fluida kerjanya terjadi pada sudu tetap dan sudu geraknya. Aliran air dalam keadaan bertekanan memasuki dan mengalir menuju celah bagian sudu sehingga baling-baling pada turbin akan berputar. Terdapat beberapa macam turbin reaksi yaitu:

### 2.6.2.1 Turbin Francis

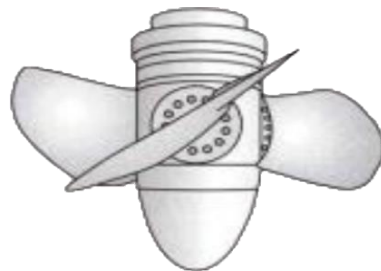
Turbin francis merupakan turbin yang digunakan jika terdapat sumber air yang memiliki tekanan tinggi pada bagian masuk atau *input* dan bertekanan rendah pada bagian keluaran atau *output*. Turbin francis termasuk salah satu turbin reaksi dan menggunakan sudu pengarah sehingga air akan masuk secara tangensial. Turbin ini dapat bekerja jika terdapat tekanan lebih besar. Air akan masuk ke *runner* sehingga sebagian energi potensial bekerja didalam sudu pengarah dan diubah menjadi kecepatan air masuk. Penggunaan pipa isap dilakukan sehingga jika terdapat sisa energi *head* memungkinkan energi dimanfaatkan dan bekerja pada sudu jalan (Fachrudin & Astuti, 2021).



Gambar 5. Turbin francis.  
(Sumber: Fachrudin & Astuti, 2021)

### 2.6.2.2 Turbin Kaplan

Turbin kaplan merupakan turbin reaksi jenis baling-baling yang dapat disesuaikan. Air dalam keadaan bertekanan akan masuk kedalam jaringan dan mengalir menuju sudu turbin. Perubahan besar luas penampang saluran dan kecepatan putar tubin dipengaruhi oleh bertambahnya kapasitas air yang masuk ke dalam turbin, kelengkungan sudu, jumlah sudu dan belokan air yang terjadi di dalam sudu (Sugiyanto & Tugimin, 2016).



Gambar 6. Turbin kaplan.  
(Sumber: Mulyono & Suwarti, 2015).

### 2.6.3 Daerah Operasi Turbin

Turbin terdiri atas beberapa jenis dan memiliki ciri-ciri yang berbeda. Salah satu perbedaan setiap jenis turbin yaitu pada daerah operasi turbin atau kemampuan kerja turbin pada *head* tertentu dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

Tabel 1. Klasifikasi turbin air berdasarkan daerah operasi turbin.

Jenis Turbin	Head (m)
Kaplan dan Propeller	$2 < H < 20$
Francis	$10 < H < 350$
Pelton	$50 < H < 1000$
<i>Crossflow</i>	$6 < H < 100$
Turgo	$50 < H < 250$

Sumber: Syarief & Isworo (2015)

## 2.7 Generator

Generator merupakan suatu mesin yang berfungsi untuk mengubah atau mengkonversi tenaga mekanik menjadi energi listrik. Energi mekanik pada generator berasal dari tenaga air, tenaga panas, motor diesel dan bensin, maupun motor listrik. Prinsip kerja mesin ini yaitu tenaga mekanik dimanfaatkan untuk memutar kumparan kawat penghantar dalam medan magnet ataupun sebaliknya memutar magnet diantara kumparan kawat penghantar. Pada sistem pembangkit listrik, generator merupakan salah satu komponen utama yang berguna untuk mengkonversi energi mekanik yang dihasilkan turbin menjadi energi listrik dari generator. Generator menghasilkan energi yang berasal dari beda ketinggian air dan turbin yang berputar karena adanya tekanan air (Wie & Agung, 2018).

Menurut (Nakhoda *et al.*, 2018), pembuatan sistem pembangkit listrik dengan menggunakan generator memerlukan data daya yang dihasilkan oleh generator, daya didapat berdasarkan pengukuran tegangan dan besaran arus yang dihasilkan oleh generator sehingga dapat dilakukan perhitungan daya berikut:

$$P = V \times I \quad (5)$$

Keterangan:

P = daya (Watt)  
V = tegangan (Volt)  
I = arus (Ampere)

Menurut Saleh *et al.* (2019), daya terbangkitkan oleh generator dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 6.

$$P_t = \rho \times Q \times g \times H \times \eta_t \times \eta_g \quad (6)$$

Keterangan:

$P_t$  = Daya *output* (kW)  
 $\rho$  = Massa jenis air ( $\text{kg/m}^3$ )  
Q = Debit ( $\text{m}^3/\text{s}$ )  
g = Gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )  
H = *Head* (m)  
 $\eta_t$  = Efisiensi turbin (%)  
 $\eta_g$  = Efisiensi generator (%)

Efisiensi generator merupakan presentase banyaknya energi mekanik yang dapat dikonversi menjadi energi listrik oleh generator. Nilai efisiensi generator yang dapat dijadikan acuan yaitu sebesar 80%. Nilai tersebut merupakan nilai efisiensi terkecil dari generator (Saleh, 2014).

## 2.8 Debit

Perencanaan pembuatan pembangkit listrik terdiri atas beberapa hal utama, salah satunya yaitu debit. Debit aliran air merupakan banyaknya air yang mengalir dalam satuan volume per waktu dengan satuan yang digunakan yaitu meter kubik per detik ( $m^3/s$ ). Debit aliran dipengaruhi oleh kecepatan aliran air dan luas penampang daerah aliran air. Pengukuran tinggi muka air dan lebar sungai dapat dilakukan untuk mengetahui luas penampang aliran. Sedangkan, pengukuran kecepatan aliran dilakukan dengan menggunakan alat ukur kecepatan arus. Pada daerah sungai besar, dalam proses pengukuran kecepatan aliran air dapat menggunakan *current meter* dengan mengukur besaran kecepatan arus berdasarkan jumlah putaran kipas pada alat, sedangkan untuk pengukuran luas penampang dapat dilakukan dengan membagi luas pada setiap segmen dan mengukur kedalaman pada setiap segmennya. Pada daerah aliran sungai kecil pengukuran debit dapat dilakukan menggunakan metode apung dalam mengukur kecepatan dengan memanfaatkan benda apung dan pengukuran menggunakan meteran untuk luas penampang aliran air (Widiatmoko *et al.*, 2021).

Klasifikasi sungai terbagi menjadi empat yaitu kali kecil dari mata air, kali, sungai sedang dan sungai besar. Pengklasifikasian sungai dilakukan berdasarkan luas penampang aliran sungai dan lebar sungai sehingga dapat dikelompokkan sebagai berikut:

Tabel 2. Klasifikasi aliran sungai.

<b>Nama</b>	<b>Luas DAS</b>	<b>Lebar Sungai</b>
Kali kecil dari mata air	0-2 $km^2$	0-1 m
Kali kecil	2- 50 $km^2$	1-3 m
Sungai sedang	50-300 $km^2$	3-10 m
Sungai besar	>300 $km^2$	>10 m

Sumber: Hayati & Agoes (2014)

Menurut Widiarta, Wijaya, & Suartika (2021), rumus yang digunakan untuk menghitung debit aliran air berdasarkan nilai kecepatan aliran dan luas penampang yang diukur secara langsung, sehingga dapat dihitung berdasarkan Persamaan 7.

$$Q = A \times v \quad (7)$$

Keterangan:

- Q = Debit aliran (m<sup>3</sup>/s)  
 A = Luas penampang (m<sup>2</sup>)  
 v = Kecepatan aliran (m/s)

Luas penampang merupakan luas atau ukuran suatu bidang yang dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 8.

$$A_n = i_n \times \left( \frac{d_{n-1} + d_n}{2} \right) \quad (8)$$

Keterangan:

- A<sub>n</sub> = Luas penampang (m<sup>2</sup>)  
 i = Jarak segmen (m)  
 d = Kedalaman (m)  
 n = Nomor segmen

Kecepatan aliran merupakan jarak tempuh suatu aliran fluida dalam satuan waktu yang dapat dihitung menggunakan Persamaan 9.

$$v_a = v_f \times c \quad (9)$$

$$v_f = \frac{s}{t}$$

Keterangan:

- v<sub>a</sub> = Kecepatan rata-rata (m/s)  
 v<sub>f</sub> = Kecepatan aliran (m/s)  
 c = Koefisien atau faktor koreksi  
 s = Jarak tempuh (m)  
 t = Waktu tempuh (s)

Hasil pengukuran kecepatan aliran dengan metode apung merupakan nilai kecepatan aliran permukaan sehingga untuk mendapatkan nilai rata-rata kecepatan aliran sungai dapat dihitung dengan mengalikan nilai faktor koreksi berikut:

Tabel 3. Faktor koreksi untuk tiap jenis saluran.

Jenis Saluran	Faktor Koreksi
Saluran Beton, Persegi Panjang Mulus	0,85
Sungai Luas, Tenang, Aliran Bebas (A>10 m <sup>2</sup> )	0,75
Sungai Dangkal, Aliran Bebas (A<10 m <sup>2</sup> )	0,65
Dangkal (<0,5 m), Aliran Turbulen	0,45
Sangat Dangkal (<0,2 m), Aliran Turbulen	0,25

Sumber: Widiarta, Wijaya & Suartika (2021)



Menurut Widiarta, Wijaya & Suartika (2021), pengukuran debit dapat dilakukan dengan melakukan pengukuran debit aliran secara langsung ditempat penelitian (pengukuran primer). Pengukuran debit sungai primer dapat dilakukan menggunakan metode pelampung dengan memanfaatkan benda apung. Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pengukuran metode apung yaitu:

- a. Memilih bagian sungai yang *relative* lurus dan penampangnya seragam.
- b. Mengukur luas penampang sungai dengan membagi dalam beberapa segmen.
- c. Menggunakan benda apung dalam pengukuran kecepatan aliran.
- d. Mengukur waktu tempuh benda apung hingga melewati jarak yang telah ditentukan.
- e. Menghitung kecepatan air rata-rata.
- f. Kecepatan aliran dapat dihitung dengan nilai kecepatan rata-rata dikalikan dengan faktor koreksi.

## 2.9 Tinggi Jatuh Air

Tinggi jatuh air atau *head* termasuk salah satu parameter utama dalam perencanaan pembuatan pembangkit listrik tenaga pikohidro. *Head* atau tinggi jatuh air merupakan jarak vertikal atau beda tinggi antara permukaan air pada daerah *input* dengan *output* air pada turbin. Bendungan sederhana digunakan dalam memodifikasi ketinggian *head* sehingga semakin tinggi air yang jatuh, maka tenaga yang dihasilkan semakin besar. *Head* dapat diukur menggunakan alat-alat ukur seperti *altimeter page* pada GPS, meteran, *waterpass*, *range finder* (alat ukur kemiringan) dan *clinometer* (penggunaannya dikombinasikan dengan pengukuran langsung kemiringan bidang) (Astro *et al.*, 2020).

*Head* dapat diklasifikasikan berdasarkan hasil pengukuran ketinggian menggunakan alat ukur. Pengklasifikasian *head* dapat dilakukan berdasarkan tabel berikut:

Tabel 4. Klasifikasi *head*.

<b>Tipe</b>	<b>Ketinggian</b>
<i>Head</i> Rendah	2-30 m
<i>Head</i> Menengah	30-100 m
<i>Head</i> Tinggi	>100 m

Sumber: Ibrahim, Dirja, & Naubnome (2020)

*Head* merupakan salah satu parameter penting dalam perhitungan potensi energi listrik. Perhitungan *head losses* dalam suatu pipa dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan Hazen-Williams. Pipa termasuk saluran tertutup yang digunakan untuk mengalirkan atau menyalurkan air menuju turbin dan rumah pembangkit dalam pembuatan pembangkit listrik tenaga air. Perhitungan *head losses* dalam pipa dengan persamaan Hazen-Williams diperlukan nilai kekasaran pipa sesuai dengan material pipa yang digunakan (Abdulsalam *et al.*, 2014). Nilai koefisien kekasaran pipa berdasarkan material material yang digunakan diperinci pada Tabel 5.

Tabel 5. Koefisien kekasaran pipa.

Material Pipa	C
<i>Cast Iron</i>	95-130
Pipa Besi Digalvanis	120
Pipa Berlapis Semen	120-140
Kuningan	130-140
Tembaga	130-140
Timah	130-140
Pipa Abses	140
Plastik (PVC)	140-150
Baja ( <i>Steel</i> )	140-150

Sumber: Abdulsalam *et al.* (2014)

Perhitungan *head losses* berdasarkan debit dan koefisien kekasaran pipa dapat dihitung menggunakan Persamaan 10.

$$H_1 = \frac{10,67 \times Q^{1,85}}{C^{1,85} \times d^{4,85}} \times L \quad (10)$$

Keterangan:

- $H_1$  = *Head losses* (m)
- $Q$  = Debit ( $m^3/s$ )
- $C$  = Koefisien kekasaran pipa Hazen-Williams
- $d$  = Diameter pipa (m)
- $L$  = Panjang pipa (m)

Menurut Ointu, Surusa, & Zainuddin (2020), *head effectif* merupakan ketinggian jatuh air efektif yang dapat digunakan dalam perhitungan potensi energi listrik. Perhitungan *head effectif* dilakukan berdasarkan Persamaan 11.

$$H_{\text{eff}} = H - H_l \times \text{eff} \quad (11)$$

Keterangan:

$H_{\text{eff}}$  = *Head efektif* (m)

$H$  = *Head* (m)

$H_l$  = *Head losses* (m)

$\text{eff}$  = Efisiensi pipa (%)

Penghitungan *head efektif* memerlukan nilai dari efisiensi pipa sehingga dapat digunakan nilai efisiensi terendah pada pipa yaitu sebesar 90%. Nilai efisiensi pipa merupakan besaran energi potensial yang dikonversi menjadi energi kinetik pada pipa (Ointu, Surusa, & Zainuddin 2020).

## 2.10 Pompa

Pompa merupakan mesin yang berfungsi untuk menyalurkan atau mengalirkan air dari suatu tempat ke tempat lain. Sistem pemompaan fluida memerlukan tekanan aliran air sehingga dapat mencegah hambatan-hambatan dalam pengaliran air. Menurut karakteristik tipe pompa terbagi menjadi beberapa jenis sebagai berikut:

### 2.10.1 Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal membutuhkan rotasi  $\geq 1000$  rpm sehingga penggerakannya hanya berasal dari listrik. Pada rotasi kurang dari 1000 rpm pompa tidak dapat menghisap air. Pompa tipe ini memiliki efisiensi yang optimal pada *head* dan putaran atau rotasi dengan rancangan tertentu. Gaya sentrifugal dimanfaatkan pada proses percepatan laju aliran fluida yang berasal dari *impeller* pada pompa sentrifugal. Putaran *impeller* dihasilkan oleh dinamo atau motor yang berada dalam selubung pompa atau *casing*. *Impeller* akan menghasilkan energi kinetik sehingga pada *casing* atau selubung pompa terjadi perubahan tekanan yang mengakibatkan cairan masuk melalui *suction pipe* dan keluar melalui pipa pelepasan atau *delivery pipe*. Pompa jenis sentrifugal terdiri atas beberapa jenis dan digunakan untuk bidang pertanian, pertambangan dan petrokimia. Pompa ini dapat digunakan sebagai sistem irigasi sawah dan perkebunan dalam bidang pertanian, sedangkan dalam bidang pertambangan digunakan untuk membawa cairan dari sumur produksi yang kemudian akan diolah (Sumarjo *et al.*, 2017).



Gambar 7. Pompa sentrifugal.  
(Sumber: Sumarjo *et al.*, 2017)

### 2.10.2 Pompa Tipe Sprayer

Pompa tipe *sprayer* merupakan jenis pompa yang digunakan untuk menyalurkan air dalam bidang pertanian, maupun pada usaha komersial. Pompa tipe *sprayer* merupakan jenis pompa yang sangat mudah didapatkan dipasaran dengan harga yang cukup terjangkau. Salah satu pompa tipe *sprayer* yaitu pompa Sanchin yang memiliki kapasitas cukup besar sesuai dengan tipenya. Pompa ini mampu menyalurkan air hingga sejauh  $\pm 5$  km dengan daya semprot pompa hingga 59 l/m dan daya kerja pompa sebesar 3-5 kWh (Priyatmoko *et al.*, 2016).



Gambar 8. Pompa tipe *sprayer*.  
(Sumber: Priyatmoko *et al.*, 2016)

Menurut Saleh *et al.* (2019), perhitungan daya yang digunakan pompa untuk bekerja dapat dihitung menggunakan Persamaan 12.

$$P_p = \rho \times Q \times g \times H \times \eta_p \quad (12)$$

Keterangan:

- $P_p$  = Daya pompa (kW)
- $\rho$  = Massa jenis air ( $\text{kg/m}^3$ )
- $Q$  = Debit ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
- $g$  = Gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )
- $H$  = *Head* (m)
- $\eta_p$  = Efisiensi pompa (%)

Menurut Nurdiana *et al.* (2021), efisiensi pompa merupakan presentase energi mekanik yang terkonversi. Efisiensi pompa dapat dihitung berdasarkan daya *input* pompa dan daya *output* pompa. Daya *input* pompa merupakan besaran daya listrik yang diperlukan pompa untuk beroperasi. Sedangkan daya *output* merupakan besaran daya air atau daya hidrolis yang mampu dihasilkan pompa. Berikut merupakan persamaan untuk menghitung efisiensi pompa:

$$\text{Efisiensi} = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \quad (13)$$

Keterangan:

$P_{\text{out}}$  = Daya *output* (Watt)

$P_{\text{in}}$  = Daya *input* (Watt)

## 2.11 Kebutuhan Energi Listrik

Kebutuhan energi listrik suatu wilayah tergantung pada jumlah dan kebutuhan penduduk, letak wilayah, perencanaan pembangunan dan pembangunan daerah. Prakiraan kebutuhan energi listrik memerlukan data tersebut sehingga prakiraan yang kurang tepat atau lebih besar dari potensi dapat diminimalisir. Prakiraan kurang tepat dapat menyebabkan kapasitas pembangkit tidak mencukupi sehingga energi tidak memenuhi kebutuhan masyarakat (Saputri & Hidayah, 2014).

Lampu penerangan jalan merupakan salah satu kebutuhan energi listrik untuk kepentingan umum dan termasuk bagian dari konstruksi jalan yang dimanfaatkan untuk penerangan jalan maupun penerangan lingkungan di sekitar dan dipasang pada bagian kiri atau sisi kanan jalan maupun di tengah bagian medan jalan. Menurut Effendi & Razonta (2015), terdapat beberapa jenis lampu penerangan jalan yang digunakan untuk jalanan umum yaitu sebagai berikut:

### a. Lampu Sodium/Natrium Tekanan Tinggi (SON)

Lampu sodium biasanya digunakan untuk penerangan luar ruangan. Efisiensi rata-rata lampu ini yaitu 110 lm/Watt dan daya lampu 150-400 Watt. Jenis lampu ini digunakan untuk jalan tol, persimpangan luas dengan efisiensi yang tinggi dan umur pakai yang lama, ukuran lampu sodium termasuk kecil sehingga dalam proses pengontrolan cahayanya sangat mudah.

b. Lampu Uap Merkuri

Lampu uap merkuri adalah lampu dengan model HID. Lampu jenis ini memiliki efisiensi rata-rata sebesar 50-55 lm/Watt dengan daya sebesar 125-700 Watt. Lampu uap merkuri biasanya digunakan untuk jalan kolektor dengan efisiensi yang rendah dan ukuran lampu yang kecil.

c. Lampu LED

Lampu LED termasuk jenis lampu yang dapat digunakan untuk jalan lokal dan persimpangan. Lampu jenis ini memiliki 50-160 lm/Watt dengan daya 25-200 Watt. Efisiensi lampu jenis ini cukup tinggi dengan umur pakai yang cukup lama.

Menurut Putra, Wijaya, & Arta (2020), dalam menentukan kebutuhan penerangan lampu jalan dapat dilakukan berdasarkan rumus-rumus berikut:

a. Jumlah Titik Lampu

Penentuan jumlah titik lampu jalan dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan 14.

$$T = \frac{L}{S} + 1 \quad (14)$$

Keterangan:

- T = Jumlah titik lampu
- L = Panjang jalan (m)
- S = Jarak tiang (m)

b. Kebutuhan Daya Listrik

Besaran energi listrik yang digunakan untuk penerangan lampu jalan dapat dihitung berdasarkan Persamaan 15.

$$P = P_1 \times w \quad (15)$$

Keterangan:

- P = Daya listrik (kW)
- P<sub>1</sub> = Daya lampu (Watt)
- w = Jumlah lampu