

**ANALISIS PENGARUH TINGGI JATUH AIR TERHADAP
KINERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR
MENGUNAKAN TURBIN TIPE *WHIRLPOOL***

SKRIPSI

OLEH:

**M. DIMAS KURNIAWAN
188130007**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2023**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 30/8/23

Access From (repository.uma.ac.id)30/8/23

HALAMAN JUDUL

ANALISIS PENGARUH TINGGI JATUH AIR TERHADAP KINERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR MENGUNAKAN TURBIN TIPE *WHIRPOOL*

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik
Universitas Medan Area



OLEH:

M. DIMAS KURNIAWAN
NPM. 188130007

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MEDAN AREA

MEDAN

2023

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area


Document Accepted 30/8/23


Access From (repository.uma.ac.id)30/8/23

HALAMAN PENGESAHAN BUKU SKRIPSI


Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Tinggi Jatuh Air Terhadap Kinerja
Pembangkit Listrik Tenaga Air Menggunakan Turbin Tipe
Whirpool
Nama Mahasiswa : M. Dimas Kurniawan
NPM : 188130007
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing:


(Indra Hermawan, ST, MT)
Pembimbing I


(Muhammad Idris, ST, MT)
Pembimbing II


DR. Rahmadsyah, S. Kom, M. Kom
Dekan


(Muhammad Idris, ST, MT)
Ka. Prodi/ WD 1

Tanggal Lulus: 08 Agustus 2023

HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 08 Agustus 2023



M. Dimas Kurniawan

188130007

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : M. Dimas Kurniawan

NPM : 188130007

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Tugas Akhir/ Skripsi/ Tesis

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalti Free Right)** atas karya ilmiah yang berjudul: Analisis Perbandingan Tinggi Jatuh Air Terhadap Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Air Menggunakan Turbin Tipe *Whirpool*.

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih media /format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (data base), merawat dan memublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/ pencipta dan sebagai Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan

Pada tanggal : 08 Agustus 2023

Yang Menyatakan



(M. Dimas Kurniawan)

ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah pembangkit tenaga listrik dengan memanfaatkan aliran air sehingga menghasilkan energi listrik. Penelitian dilakukan untuk mengetahui kinerja PLTA antara lain tinggi jatuh air terbaik, torsi pada turbin, daya listrik, daya generator dan efisiensi yang diciptakan. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menghitung pengaruh tinggi jatuh air terhadap kinerja pembangkit listrik tenaga air turbin tipe whirlpool dan menganalisis daya, torsi, dan efisiensi yang dapat dihasilkan pembangkit listrik tenaga air menggunakan turbin tipe whirlpool. Penelitian ini memiliki percobaan pengukuran 3 variasi tinggi jatuh air dengan 5 bilah sudu. Penelitian yang telah dilakukan pada *prototype* PLTA, dilaksanakan 3 kali uji coba dengan hasil data tinggi jatuh air, debit air, torsi, daya serta efisiensi. Potensi tinggi jatuh air terbaik (head) pada *Prototype* PLTA pada uji cobake 3 dengan tinggi 0,67 m dan bukan pintu air yang berdiameter 0,0625 m dengan debit air 0,01143, sedangkan debit air terendah pada tinggi jatuh air (head) 0,55 m dengan debit air 0,01036. Dari percobaan yang dilakukan daya air terbesar pada uji coba ke 3 tinggi jatuh air (head) 0,67 m dengan bukaan pintu air yang berdiameter 0,0625 m didapat daya air 75,13 Watt, daya generator 5,16 Watt, torsi 0,233 N.m, daya turbin tanpa beban generator 3,73 Watt, daya turbin dengan beban generator 2,63 Watt dan efisiensi 6,87 %. Dengan data yang diperoleh dari kinerja *prototype* PLTA dapat digunakan untuk alat pengujian skala laboratorium.

Kata Kunci: PLTA, Debit Air, Turbin Whirlpool

ABSTRACT

Hydroelectric Power Plant (PLTA) is a power plant by utilizing the flow of water to produce electrical energy. The research was conducted to determine the performance of hydropower plants, including the best water fall height, torque on the turbine, electrical power, generator power and the efficiency created. The purpose of this study is to calculate the effect of the height of the falling water on the performance of a whirlpool turbine type hydroelectric power plant and to analyze the power, torque, and efficiency that can be produced by a hydroelectric power plant using a whirlpool type turbine. This study has an experiment measuring 3 variations of the height of the falling water with 5 blades. The research that was carried out on the hydropower prototype was carried out 3 trials with the results of data on water fall height, water discharge, torque, power and efficiency. The best potential head of the PLTA Prototype in test 3 with a height of 0.67 m and not a sluice with a diameter of 0.0625 m with a water discharge of 0.01143, while the lowest water discharge is at a head of 0.55 m with a water debit of 0.01036. From the experiment, the largest water power was carried out in the 3rd trial, the height of the water fall (head) was 0.67 m with a sluice opening with a diameter of 0.0625 m, it was obtained that the water power was 75.13 Watt, the generator power was 5.16 Watt, the torque was 0.233 N.m, turbine power without generator load is 3.73 Watt, turbine power with generator load is 2.63 Watt and efficiency is 6.87%. The data obtained from the performance of the hydropower prototype can be used for laboratory scale testing tools.

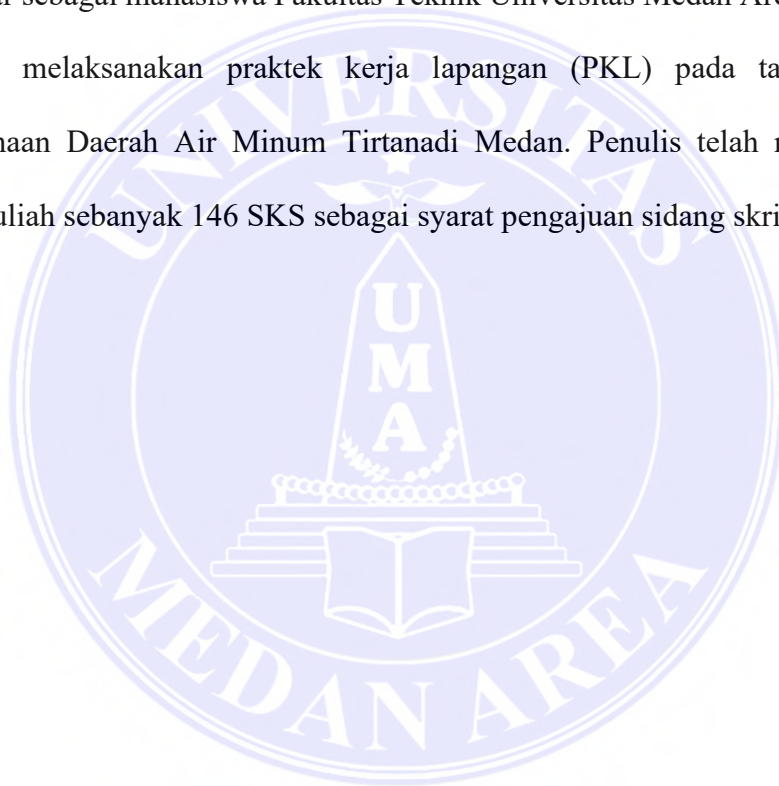
Keywords: *Hydropower, Water Debit, Whirlpool Turbine*

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Medan, Kecamatan Patumbak, Kabupaten Deli Serdang, Provinsi Sumatera Utara. Pada tanggal 19 Agustus 2000 dari ayah bernama Suharto dan ibu Dra. Baktini. S. Penulis merupakan putra kedua dari dua bersaudara.

Tahun 2018 penulis lulus dari SMK Negeri 2 Medan dan pada tahun 2018 terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Penulis melaksanakan praktek kerja lapangan (PKL) pada tahun 2021 di Perusahaan Daerah Air Minum Tirtanadi Medan. Penulis telah menyelesaikan mata kuliah sebanyak 146 SKS sebagai syarat pengajuan sidang skripsi.



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala karuniaNya sehingga skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian ini ialah analisis pengaruh tinggi jatuh air dengan judul Analisis pengaruh tinggi jatuh air terhadap kinerja pembangkit listrik tenaga air menggunakan turbin *whirpool*. Terima kasih penulis sampaikan kepada bapak Indra Hermawan, S.T., M.T dan Muhammad Idris, S.T., M.T selaku pembimbing 1 dan pembimbing 2 penulis, yang telah banyak memberikan saran dan masukan kepada penulis selama proses pengerjaan penelitian ini. Disamping itu penghargaan penulis sampaikan kepada rekan-rekan satu tim dan teman-teman seangkatan yang telah membantu penulis selama melaksanakan penelitian. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah, ibu, serta seluruh keluarga atas segala doa dan perhatiannya. Penulis menyadari bahwa tugas akhir/skripsi/tesis ini masih memiliki kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan tugas akhir/skripsi/tesis ini. Penulis berharap tugas akhir/skripsi/tesis ini dapat bermanfaat baik untuk kalangan pendidikan maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Penulis

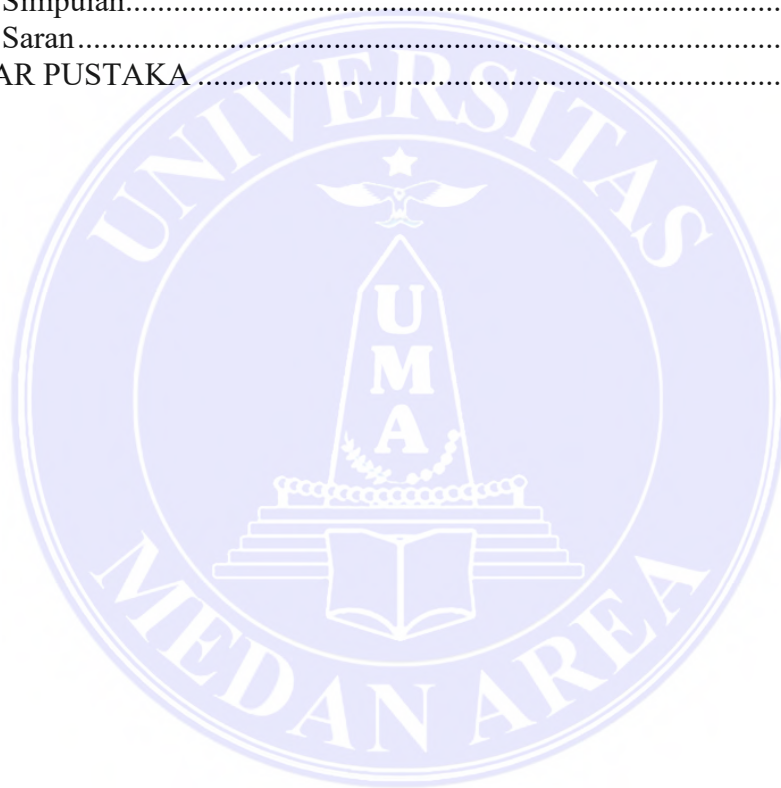


(M. Dimas Kurniawan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN BUKU SKRIPSI	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN.....	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
RIWAYAT HIDUP.....	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Hipotesis Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Pengertian Pembangkit Listrik Tenaga Air	5
2.2. Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Air.....	5
2.3. Turbin Air.....	6
2.4. Jenis-jenis Turbin Air.....	6
2.4.1. Turbin Implus	7
2.4.2. Turbin Reaksi.....	9
2.5. Turbin <i>Whirpool</i>	11
2.6. Aliran Fluida	12
2.6.1. Aliran Laminar.....	12
2.6.2. Aliran Transisi	13
2.6.3. Aliran Turbulent	13
2.7. Karakteristik Pembangkit Listrik Tenaga Air	14
2.7.1. Tinggi Jatuh Air (<i>Head</i>).....	14
2.7.2. Debit Air (<i>Q</i>).....	15
2.7.3. Torsi (<i>T</i>).....	17
2.7.4. Daya Air (<i>Pa</i>)	18
2.7.5. Daya Turbin (<i>Pt</i>)	19
2.7.6. Daya Generator (<i>Pg</i>)	19
2.7.7. Efisiensi Pembangkit (η_p)	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	21
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	21
3.1.1. Waktu.....	21
3.1.2. Tempat	21
3.2. Bahan dan Alat Penelitian	22
3.2.1. Bahan Penelitian	22
3.2.1. Alat Penelitian.....	25

3.3. Metode Penelitian.....	31
3.4. Populasi dan Sampel	31
3.4.1. Populasi.....	31
3.4.2. Sampel	32
3.5. Prosedur Kerja.....	33
3.5.1. Diagram Alir Penelitian	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1. Hasil	40
4.2. Pembahasan.....	41
4.2.1. Tinggi Jatuh Air (<i>Head</i>).....	41
4.1.2. Debit Air	41
4.1.3. Potensi Daya Listrik.....	43
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	50
5.1. Simpulan.....	50
5.2. Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA	52



DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Waktu Kegiatan Penelitian.....	21
Tabel 3. 2. Tabel Keterangan <i>Prototype</i> PLTA	24
Tabel 3. 3. Tabel Populasi.....	32
Tabel 3. 4. Tabel Sampel.....	32
Tabel 3. 5. Tabel Parameter Pengukuran	38
Tabel 4. 1. Hasil Perhitungan Percobaan Tinggi Jatuh Air (<i>Head</i>)	40
Tabel 4. 2. Pengujian Tinggi Jatuh Air (<i>Head</i>).....	42



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Prinsip Kerja PLTA.....	6
Gambar 2. 2. Turbin Pelton.....	8
Gambar 2. 3. Turbin Turgo	8
Gambar 2. 4. Turbin Cross-Flow	9
Gambar 2. 5. Turbin Francis	10
Gambar 2. 6. Turbin Kaplan	11
Gambar 2. 7. Turbin <i>whirpool</i>	11
Gambar 2. 8. Turbin <i>Whirpool</i>	12
Gambar 2. 9. Aliran Laminar	12
Gambar 2. 10. Aliran Transisi.....	13
Gambar 2. 11. Aliran Turbulent.....	13
Gambar 2. 12. Tinggi Jatuh Air (<i>Head</i>)	14
Gambar 2. 13. Persamaan Kontinuitas	17
Gambar 2. 14. Metode <i>Prony Brake</i>	18
Gambar 3. 1. <i>Prototype</i> Pembangkit Listrik Tenaga Air	22
Gambar 3. 2. Desain <i>Prototype</i> Pembangkit Listrik Tenaga Air.....	23
Gambar 3. 3. Rancangan Desain <i>Prototype</i> Pembangkit Listrik Tenaga Air	23
Gambar 3. 4. Sudu Turbin <i>Whirpool</i>	24
Gambar 3. 5. Rancangan Desain Sudu Turbin <i>Whirpool</i>	25
Gambar 3. 6. <i>Tachometer</i>	25
Gambar 3. 7. Meter Ukur	27
Gambar 3. 8. <i>Stopwatch</i>	27
Gambar 3. 9. <i>Multi tester</i>	28
Gambar 3. 10. Timbangan Tangan Digital	29
Gambar 3. 11. Generator.....	30
Gambar 3. 12. Pompa Air	31
Gambar 3. 13. Kontrol Tinggi Jatuh Air (<i>Head</i>).....	33
Gambar 3. 14. Proses Memasukkan Air Kedalam <i>Reservoir</i> Atas	34
Gambar 3. 15. Pembukaan Pintu Air	34
Gambar 3. 16. Pengambilan Kecepatan Putaran Turbin Dengan Terhubung Generator.....	35
Gambar 3. 17. Pengambilan Kecepatan Putaran Turbin Tidak Terhubung Generator.....	35
Gambar 3. 18. Proses Mencari Tegangan Listrik.....	36
Gambar 3. 19. Proses Mencari Arus Listrik.....	36
Gambar 3. 20. Proses Pengambilan Data dengan Metode <i>Prony Brake</i>	37
Gambar 3. 21. Percobaan <i>Prototype</i> Pembangkit Listrik Tenaga Air.....	37
Gambar 3. 22. Diagram Alir Penelitian	39
Gambar 4. 1. Perbandingan Tinggi Jatuh Air (<i>Head</i>) dengan Putaran Turbin Tanpa Beban dan dengan Beban Generator	45
Gambar 4. 2. Perbandingan Tinggi Jatuh Air (<i>Head</i>) dengan Daya Air.....	46
Gambar 4. 3. Perbandingan Tinggi Jatuh Air (<i>Head</i>) dengan Daya Generator	47
Gambar 4. 4. Perbandingan Tinggi Jatuh Air (<i>Head</i>) dengan Daya Turbin Tanpa Beban dan dengan Beban Generator	48
Gambar 4. 5. Perbandingan Tinggi Jatuh Air (<i>Head</i>) dengan Torsi	49

DAFTAR NOTASI

H	= Tinggi Jatuh Air (m)
ρ	= Massa Jenis Air (kg/m^3)
η_p	= Efisiensi Pembangkit (%)
t	= Waktu (s)
P_t	= Daya Turbin (Watt)
P_g	= Daya Generator (Watt)
g	= Gaya Gravitasi Bumi (m/s^2)
Q	= Debit Air (m^3/s)
A	= Luas Penampang (m^2)
V	= Kecepatan Laju Aliran (m/s)
P_t	= Daya Turbin (Watt)
F	= Gaya (N)
T	= Torsi (N.m)
v	= Tegangan Listrik (Volt)
I	= Arus (Ampere)
n	= Kecepatan Putaran (rpm)
r	= Jari-jari Poros (m)
π	= pi (3,14 atau $\frac{22}{7}$)



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Energi listrik merupakan kebutuhan mutlak sebagai aktivitas kehidupan setiap hari untuk memenuhi berbagai kebutuhan pada sektor usaha serta industri. Banyak permasalahan dalam pemenuhan kebutuhan energi listrik tersebut, terutama diakibatkan besarnya ketergantungan masyarakat terhadap bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui seperti minyak bumi. Berbagai alternatif energi saat ini telah banyak dikembangkan mulai dari energi dari matahari (panel surya), panas bumi (geothermal), angin (turbin) dan air (mikrohidro)(Juliana et al., 2018).

Penyedia listrik di Indonesia masih belum merata bahkan di daerah terpencil masih banyak yang belum terjangkau aliran listrik. Daerah yang belum terdistribusi listrik masih memakai PMLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel). Hanya saja harga BBM (Bahan Bakar Minyak) dari hari ke hari kian meningkat tentu menjadi kendala yang sangat serius. Maka untuk mengurangi biaya pengeluaran bahan bakar pembangkit sistem listrik terbarukan menjadi pilihan alternatif. Salah satu pembangkit listrik terbarukan adalah sistem PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro). PLTMH merupakan pembangkit listrik tenaga air berskala kecil. Tentu daya yang dihasilkan oleh PLTMH tidak sebesar pembangkit listrik lainnya seperti PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap), bahkan PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air).

Kapasitas yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga air dibagi menjadi 6 jenis diantaranya adalah *Large-Hydro* Lebih dari 100MW, *Medium-Hydro* 15 –

100MW, *Small-Hydro* 1 – 15MW, *Mini-Hydro* 100kW – 1MW, *Micro-Hydro* Hingga 100kW, dan *Pico-Hydro* Dibawah 5kW.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh bahwa ketinggian air berpengaruh terhadap kinerja yang dihasilkan pembangkit listrik. Semakin tinggi air maka tekanan yang dihasilkan semakin tinggi dan berpengaruh terhadap tegangan dan arus yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga mikro hidro meningkat. Berdasarkan pengukuran diketahui bahwa tegangan dan arus tertinggi yang dihasilkan dengan ketinggian tandon air 3 meter sebesar 20,46 volt 738 mA(Sutanto et al., 2021).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya pada penelitian ini dikembangkan pembangkit listrik turbin vortex skala laboratorium. Tiga runner berbeda yang terbuat dari bahan tahan karat, SS-304, AA-5057, dan Polyvinyl Chloride (PVC), diuji dan menghasilkan daya listrik masing-masing sebesar 3,98 W, 3,47 W, dan 3,3 W. Dapat menyalakan lampu LED 3 W. Dibandingkan dengan potensi daya hidrolik yang dihitung sebesar 12,5 Watt, efisiensi maksimumnya mencapai 31,8%. Berat pelari sangat mempengaruhi daya listrik yang dihasilkan. Pelari yang lebih berat memiliki momen inersia yang lebih signifikan, yang menghasilkan torsi yang lebih tinggi, pada akhirnya lebih banyak tenaga, selama air yang mengalir dapat memutar pelari(Murniati & Antoro, 2020).

Menurut penelitian sebelumnya menyatakan hasil pengukuran tertinggi pada kemiringan head 400 dan variasi sudut blade 280. Tegangan, arus dan daya yang diperoleh 73,8 V, 148,9 A dan 10,98882W. Kecepatan Putaran turbin sebelum dikopel generator didapatkan putaran 596 rpm dan 304 rpm setelah

dikopel, sedangkan kecepatan putaran generator 3863 rpm. Torsi dan efisiensi yang dihasilkan yaitu 0,3492 Nm dan 14,16 % (Wedanta et al., 2021).

Penelitian lainnya menyatakan semakin tinggi jatuh air (Head Actual) dan semakin banyak debit air yang keluar dari Nozzle maka semakin besar juga tegangan listrik yang dihasilkan oleh Micro Hydro. Pada head actual 6,6 meter dengan head efektif 4,4 meter menghasilkan debit air 0,000796 m³/s, daya turbin 27,499 Watt dan daya micro hydro 24,749 Watt. Sedangkan pada head actual 6 meter dengan head efektif 4 meter menghasilkan debit air 0,000777 m³/s, daya turbin 24,3849 Watt dan daya micro hydro 21,946 Watt (Buyung, 2013).

Namun dalam penelitian diatas penulis menganggap daya dan efisiensi yang dihasilkan masih rendah, maka penulis akan membuat variasi tinggi jatuh air yang berbeda dari penelitian sebelumnya, supaya daya serta efisiensi yang dihasilkan lebih besar dan maksimal. Sehingga diharapkan akan lebih baik dari penelitian sebelumnya.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dilakukan penelitian dengan judul:

“Analisis Pengaruh Tinggi Jatuh Air Terhadap Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Air Menggunakan Turbin Tipe *Whirpool*”

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka permasalahan yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah :

- a. Bagaimana pengaruh tinggi jatuh air terhadap Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Air Turbin Tipe *Whirpool*?
- b. Berapakah Daya, Torsi, dan Efisiensi yang dapat dihasilkan Pembangkit

Listrik Tenaga Air Turbin Tipe *Whirlpool*?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- a. Menganalisis pengaruh tinggi jatuh air terhadap Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Air Turbin Tipe *Whirlpool*.
- b. Menghitung Daya, Torsi, dan Efisiensi yang dapat dihasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Air menggunakan Turbin Tipe *Whirlpool*.

1.4. Hipotesis Penelitian

Berdasarkan uraian rumusan masalah diatas, hipotesis dalam penelitian ini menunjukkan apakah tinggi jatuh air mempengaruhi daya, torsi dan efisiensi. Untuk mengetahui hasil pengaruh tinggi jatuh air dengan 3 variasi ketinggian maka dilakukan pengujian secara langsung.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah :

- a. Untuk mengetahui hasil analisis pengaruh tinggi jatuh air pada Pembangkit Listrik Tenaga Air turbin tipe *whirlpool*.
- b. Mengetahui hasil perhitungan Daya, Torsi dan Efisiensi pada Pembangkit Listrik Tenaga Air turbin tipe *whirlpool*.

BAB II

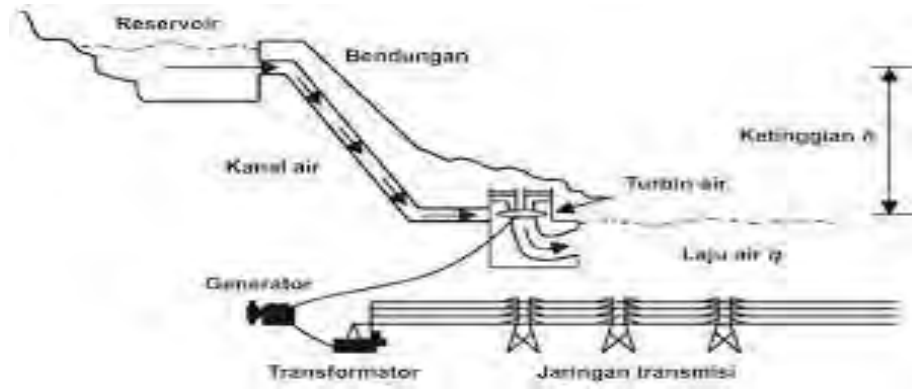
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Pembangkit Listrik Tenaga Air

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah pembangkit tenaga listrik dengan memanfaatkan aliran air yang turun dari ketinggian untuk menggerakkan generatormya, dimana dengan hal ini memanfaatkan energi potensial yang diciptakan oleh aliran air tersebut lalu diubah menjadi energi mekanik dan selanjutnya energi mekanik inilah yang digunakan untuk menggerakkan sudu atau baling-baling turbin sehingga menghasilkan energi listrik. Pembangkit listrik tenaga air konvensional merupakan model yang mengatur aliran air dari sungai atau dan menuju ke turbin (Dewangga et al., 2022).

2.2. Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Air

Pembangkit Listrik Tenaga Air pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan generator menghasilkan listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Air memerlukan dua hal yaitu, debit air dan ketinggian jatuh air (*head*) untuk menghasilkan tenaga yang dapat dimanfaatkan. Hal ini adalah sebuah sistem konversi energi dari bentuk ketinggian dan aliran (energi potensial) kedalam bentuk energi mekanik dan energi listrik (Damastuti, 1997). Secara skematis di tunjukan digambar 2.1.



Gambar 2. 1. Prinsip Kerja PLTA

2.3. Turbin Air

Kata “*turbine*” ditemukan oleh seorang insinyur prancis yang bernama Cloude Biourdin pada awal abad 19, yang di ambil dari terjemahan bahasa latin dari kata “*whirling*” (putaran). Turbin air adalah suatu mesin berputar yang mengkonversikan energi suatu gerakan aliran air menjadi energi mekanis. Energi mekanis ini kemudian ditransfer melalui suatu poros untuk mengoperasikan mesin atau generator (Esron Robet Lubis & Siahaan, 2022).

Turbin air merupakan mesin yang berputar diakibatkan oleh energi kinetik dan potensial dari aliran fluida. Fluida yang bergerak menjadikan blade pada turbin berputar dan menghasilkan energi untuk menggerakkan rotor. Turbin berfungsi untuk mengubah energi potensial dan kinetik menjadi energi mekanik. Gaya jatuh air yang mendorong baling-baling menyebabkan turbin berputar. Komponen-komponen utama pada turbin air terdiri dari rotor dan stator. Rotor merupakan bagian yang berputar pada sistem turbin air.

2.4. Jenis-jenis Turbin Air

Untuk jenis-jenis turbin air memiliki berbagai macam turbin yang digunakan untuk pembangkit listrik. Oleh karena itu turbin air di kelompokkan berdasarkan *head* (tinggi jatuhnya air) dan kapasitas aliran air yang ada. Dari prinsip kerja turbin air di kalasifikasikan menjadi dua yaitu:

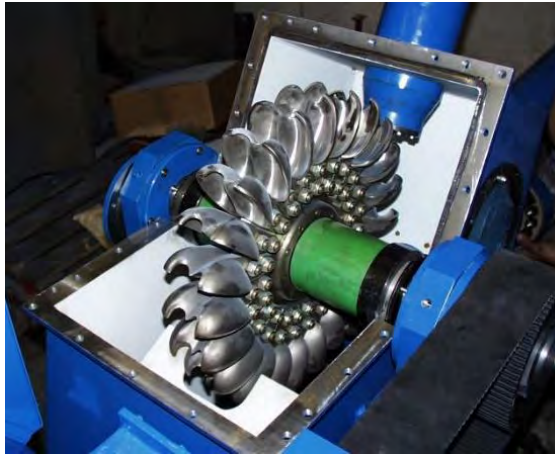
2.4.1. Turbin Implus

Turbin impuls adalah turbin air yang cara kerjanya dengan merubah seluruh energi air (yang terdiri dari energi potensial, tekanan, kecepatan) yang tersedia menjadi energi kinetik untuk memutar turbin. Energi potensial air diubah menjadi energi kinetik pada nozel. Air keluar nozel yang mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu, arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (impuls) yang mengakibatkan roda turbin akan berputar. Jenis turbin yang bekerja berdasarkan prinsip ini yaitu turbin Pelton, turbin Turgo, turbin Cross Flow (I Gusti Ngurah Saputra¹, Lie Jasa², 2020).

Energi air yang keluar dari nozel dalam bentuk energi kinetik yang memutar sudu turbin. Energi air di ubah menjadi energi mekanis pada bucket yang memutar poros. Contoh dari beberapa jenis turbin implus yaitu :

a. Turbin pelton

Turbin Pelton termasuk jenis turbin impuls yang merubah seluruh energi air menjadi energi kecepatan sebelum memasuki runner turbin. Perubahan energi ini dilakukan didalam nozzle dimana air yang semula mempunyai energi potensial yang tinggi diubah menjadi energi kinetis. Pancaran air yang keluar dari nozzleakan menumbuk bucket yang dipasang tetap sekeliling runner dan garis pusat pancaran air menyinggung lingkaran dari pusat bucket. Kecepatan keliling dari bucket akibat tumbukan yang terjadi tergantung dari jumlah dan ukuran pancaran serta kecepatannya. Kecepatan pancaran tergantung dari tinggi air di atas nozzlenya serta effisiensinya (Misbachudin et al., 2016). Turbin pelton dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. 2. Turbin Pelton

b. Turbin Turgo

Turbin turgo Dapat beroperasi pada head 30 sampai dengan 300 m. Seperti turbin pelton, turbin turgo merupakan turbin impulse, tetapi sudunya berbeda dan keuntungan kerugiannya juga sama. Turbin turgo dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. 3. Turbin Turgo

c. Turbin Cross-flow

Turbin Cross Flow adalah salah satu turbin air dari jenis turbin aksi (impulse turbine). Prinsip kerja turbin ini ditemukan oleh seorang insinyur Australia yang bernama A.G.M. Michell pada tahun 1903. Kemudian turbin ini dikembangkan dan dipatenkan di Jerman Barat oleh Prof. Donat Banki sehingga turbin ini diberi nama Turbin Banki kadang disebut juga Turbin Michell-

Ossberger. Tingginya efisiensi Turbin Cross Flow ini akibat pemanfaatan energi air pada turbin ini dilakukan dua kali, yang pertama energi tumbukan air pada sudu pada saat air mulai masuk, dan yang kedua adalah daya dorong air pada sudu-sudu saat air akan meninggalkan runner. Adanya kerja air yang bertingkat ini ternyata memberikan keuntungan dalam hal efektifitasnya yang tinggi dan kesederhanaan pada sistim pengeluaran air dari runner. Turbin cross-flow dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. 4. Turbin Cross-Flow

2.4.2. Turbin Reaksi

Turbin reaksi adalah turbin air yang cara kerjanya dengan merubah seluruh energi air yang tersedia menjadi energi putar dengan runner turbin sepenuhnya tercelup didalam air dan berada dalam rumah turbin. Turbin jenis ini digunakan untuk aplikasi turbin dengan head rendah dan medium. Jenis turbin yang bekerja berdasarkan prinsip ini yaitu turbin Francis dan turbin Kaplan(I Gusti Ngurah Saputra¹, Lie Jasa², 2020).

a. Turbin Francis

Turbin Francis merupakan salah satu turbin reaksi. Turbin dipasang diantara sumber air tekanan tinggi di bagian masuk dan air bertekanan rendah di bagian keluar. Turbin Francis menggunakan sudu pengarah. Sudu pengarah

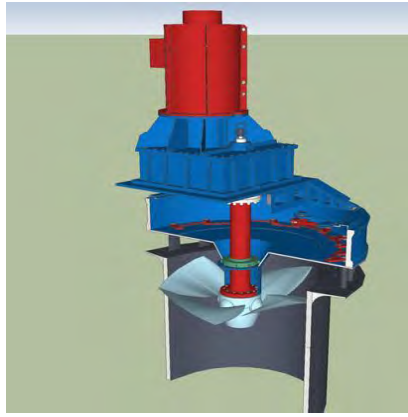
mengarahkan air masuk secara tangensial. Turbin francis bekerja dengan memakai proses tekanan lebih. Pada waktu air masuk ke roda jalan, sebagian dari energi tinggi jatuh telah bekerja di dalam sudu pengarah kemudian diubah sebagai kecepatan air masuk. Sisa energi tinggi jatuh dimanfaatkan dalam sudu jalan, dengan adanya pipa isap memungkinkan energi tinggi jatuh bekerja di sudu jalan dengan semaksimal mungkin.



Gambar 2. 5. Turbin Francis

b. Turbin Kaplan

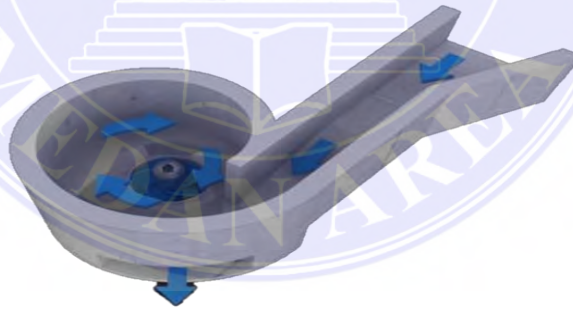
Turbin Kaplan termasuk kelompok turbin air reaksi jenis baling-baling (*propeller*). Keistimewaannya adalah sudut sudu geraknya (*runner*) bisa diatur (*adjustable blade*) untuk menyesuaikan dengan kondisi aliran saat itu yaitu perubahan debit air. Pada pemilihan turbin didasarkan pada kecepatan spesifiknya. Turbin Kaplan ini memiliki kecepatan spesifik tinggi (*high specific speed*). Turbin kaplan bekerja pada kondisi *head* rendah dengan debit besar. Pada perancangan turbin Kaplan ini meliputi perancangan komponen utama turbin Kaplan yaitu sudu gerak (*runner*), sudu pengarah (*guide vane*), *spiral casing*, *draft tube* dan mekanisme pengaturan sudut bilah sudu gerak.



Gambar 2. 6. Turbin Kaplan

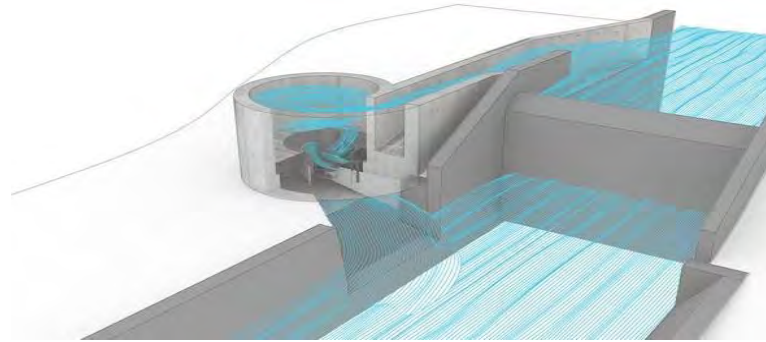
2.5. Turbin *Whirlpool*

Desain *Whirlpool* sendiri merupakan suatu perencanaan yang memanfaatkan pusaran air. Sehingga air direkayasa dengan saluran yang mendorong air membuat pusaran. Prinsip kerja yang dimiliki oleh *Whirlpool* seperti prinsip kerja pada wastafel. Pusaran ini tentunya membutuhkan perbedaan tinggi untuk dapat menggerakkan turbin. Ini sangat efektif dari pada dengan turbin vertikal yang membutuhkan tinggi jatuh yang besar (HASIBUAN, 2020). Gambar turbin *Whirlpool* terdapat digambar 2.7 dan 2.8.



Gambar 2. 7. Turbin *whirlpool*

Turbin *Whirlpool* dapat mensuplai energi listrik dengan biaya yang rendah. Bak yang digunakan untuk turbin ini yaitu bak yang terbuat dari beton yang dapat bertahan hingga seratus tahun. Menurut Turbulent turbin ini sangat ramah terhadap lingkungan dan habitat yang ada di air, perawatan untuk turbin ini tergolong mudah. Putaran dari turbin menghasilkan energi tanpa batas.



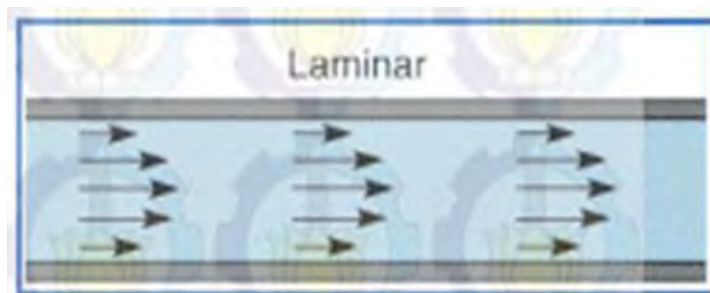
Gambar 2. 8. Turbin *Whirpool*

2.6. Aliran Fluida

Fluida adalah zat yang dapat bergerak ketika dikenai gaya. Fluida dapat berubah bentuk dan bersifat tidak permanen. Fluida membentuk berbagai jenis benda padat sesuai dengan bentuk benda yang dilewatinya. Karakteristik aliran fluida meliputi tekanan statis, tekanan dinamis, tekanan total, kecepatan fluida dan tegangan geser (Jalaluddin et al., 2019). Aliran dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis seperti :

2.6.1. Aliran Laminar

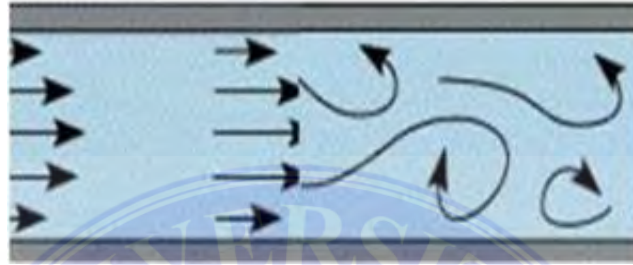
Aliran Laminar merupakan aliran fluida, dengan menampilkan gerak partikel-partikel fluidanya setara terhadap garis-garis arusnya. Aliran laminar memiliki sifat steady (alirannya tetap). Hal ini terlihat di keseluruhan aliran air, debit alirannya tetap/kecepatan alirannya tidaklah berubah menurut waktu. Gambar Aliran Laminar dapat dilihat di gambar 2.9.



Gambar 2. 9. Aliran Laminar

2.6.2. Aliran Transisi

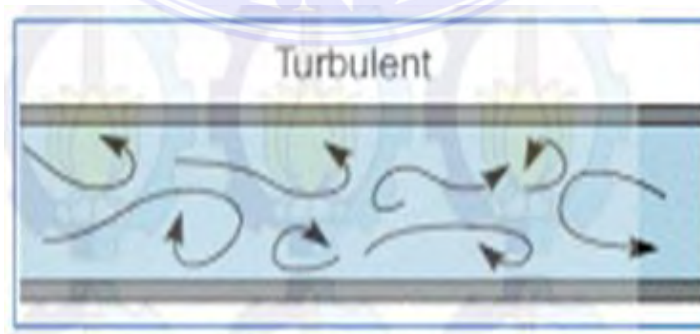
Aliran Transisi menunjukkan keadaan partikel fluida terletak di perubahan dari keadaan sama kearah keadaan yang tidak beraturan, keadaan ini kenyataannya sukar untuk terjadi. Gambar Aliran Transisi dapat di lihat digambar 2.10.



Gambar 2. 10. Aliran Transisi

2.6.3. Aliran Turbulent

Aliran yang *relatively* besar seperti biasanya menciptakan aliran yang tidak laminer namun kompleks, lintasan geraknya setiap partikel tidak beraturan. Dengan demikian, memiliki karakter seperti ketidak teraturnya pada lintasan fluidanya, aliran keseluruhan bercampur, kecepatan fluidanya tinggi, panjang skala aliran besar serta viskositas nya rendah. Gambar Aliran Turbulent terdapat digambar 2.11.



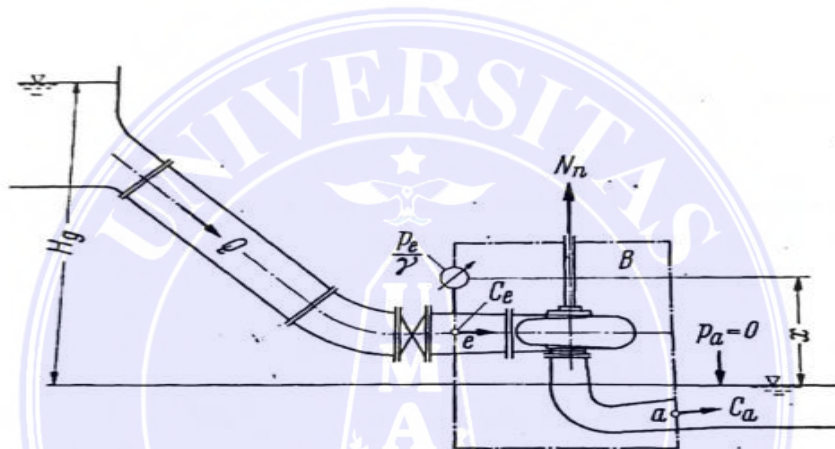
Gambar 2. 11. Aliran Turbulent

2.7. Karakteristik Pembangkit Listrik Tenaga Air

Salah satu hal yang terpenting pada PLTA meliputi Tinggi Jatuh Air (*Head*), Debit Air, Torsi, Daya dan Efisiensi.

2.7.1. Tinggi Jatuh Air (*Head*)

Tinggi jatuh air (*head*) merupakan selisih antara tinggi permukaan air atas (TPA) dengan tinggi permukaan air bawah (TPB)(Okinawa et al., 2021). Tinggi jatuh air (*head*) dapat di lihat pada gambar 2.12.



Gambar 2. 12. Tinggi Jatuh Air (*Head*)

Turbin air mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis dengan memanfaatkan ketinggian air yang dinamakan *head*. Untuk pemanfaatan energi air diperlukan bangunan air yang khusus. Perbedaan antara permukaan air diperoleh dengan membangun suatu dam, dimana ketinggian air akan bergantung pada kondisi dan tempat. Tinggi jatuh air (*head*) dapat ditentukan dengan persamaan Bernoulli. Persamaan Bernoulli dipakai dalam berbagai aplikasi penyelesaian permasalahan aliran fluida. Persamaan Bernoulli dapat dilihat pada persamaan 2.1 berikut:

$$\frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + z = \text{Konstan} \dots \dots \dots (2.1)$$

dengan :

$$\frac{P}{\gamma} = \text{Tinggi tekanan}$$

$$\frac{V^2}{2g} = \text{Tinggi kecepatan}$$

$$z = \text{Tinggi statis}$$

Tinggi jatuh air (*head*) dapat mempengaruhi kecepatan aliran air, hal ini sesuai dengan persamaan Bernoulli pada tangki berlubang yaitu :

$$V = \sqrt{2 \times g \times H} \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana :

$$V = \text{Kecepatan aliran air (m/s)}$$

$$g = \text{Gravitasi (m/s}^2\text{)}$$

$$H = \text{Tinggi jatuh air (m)}$$

Berdasarkan persamaan 2.2 maka disederhanakan menjadi :

$$H = \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan :

$$H = \text{Tinggi jatuh air (m)}$$

$$V = \text{Kecepatan aliran air (m/s)}$$

$$g = \text{Gravitasi (m/s)}$$

2.7.2. Debit Air (Q)

Debit air merupakan jumlah air yang mengalir di dalam saluran atau saluran per unit waktu. Sistem satuan SI besarnya debit dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik (m^3/s)(Ointu et al., 2020). Adapun rumus persamaan debit air dapat dilihat pada persamaan 2.4 berikut :

$$Q = \frac{V}{t} \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan :

$$Q = \text{Debit Air (m}^3/\text{s)}$$

$$V = \text{Volume Tabung (m}^3\text{)}$$

$$t = \text{Waktu (s)}$$

Untuk mengetahui volume wadah yang berbentuk persegi panjang dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$V = p \times l \times t \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan :

$$V = \text{Volume (m}^3\text{)}$$

$$p = \text{Panjang (m)}$$

$$l = \text{Lebar (m)}$$

$$t = \text{Tinggi (m)}$$

Didasarkan kesamaan kontinuitas, perhitungan luas penampang dan kecepatan fluida di setiap titik sepanjang suatu tabung aliran ialah konstan. Berdasarkan kesamaan tersebut menunjukkan kecepatan fluida mengalami pengurangan pada saat lewat dari pipa lebar serta mengalami penambahan pada saat melewati dari pipa sempit.

Karena aliran *steady* serta massanya tetap sehingga massa yang masuk dari penampang A_1 . Berdasarkan gambar 2.13 teori persamaan kontinuitas dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\Delta m_1 = \Delta m_2$$

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2$$

$$A_1V_1 = A_2V_2$$

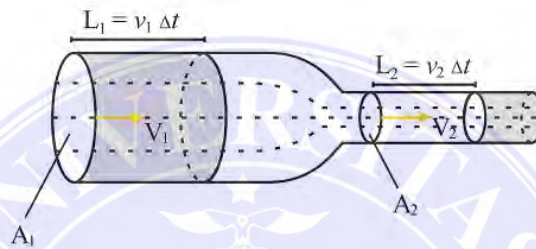
$$Q = A \times V \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan :

Q = Debit Air (m^3/s)

A = Luas Penampang (m^2)

V = Kecepatan Aliran (m/s)



Gambar 2. 13. Persamaan Kontinuitas

2.7.3. Torsi (T)

Torsi menunjukkan kemampuan sebuah gaya untuk membuat benda melakukan gerak rotasi. Besarnya torsi tergantung pada gaya yang dikeluarkan serta jarak antara sumbu putar dan letak gaya (Krishnastana et al., 2018). Pengukuran torsi berdasarkan *method prony brake* terdapat digambar 2.14. Besar torsi dihitung dengan menggunakan rumus:

$$T = F \times r \dots\dots\dots (2.7)$$

dengan:

F = Gaya (N)

Untuk mencari nilai dari F digunakan persamaan sebagai berikut:

$$F = (m_2 - m_1) \cdot g$$

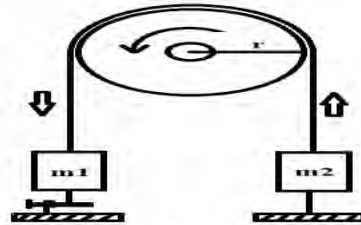
Dimana : m_1 = massa beban yang menarik (kg)

m_2 = massa beban yang ditarik (kg)

g = Gravitasi ($9,81\text{m/s}^2$)

r = Vektor posisi torsi dari titik gaya yang ditetapkan Jari-jari (m)

T = Torsi (N.m)



Gambar 2. 14. Metode *Prony Brake*

2.7.4. Daya Air (P_a)

Daya yang dihasilkan diperoleh karena adanya debit air yang mengalir di aliran saluran dan adanya tinggi terjun antara bak penampung dan rumah pembangkit. Pemanfaatan tenaga tersebut dapat dilakukan dengan mengubah menjadi energi mekanis menggunakan turbin air yang kemudian disalurkan ke generator sehingga menghasilkan energi listrik. Daya yang mampu dibangkitkan dapat dihitung dengan mengalikan gravitasi, debit air dan tinggi terjun. Energi kinetik dari air yang memutar turbin untuk menggerakkan generator dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Setiawan Wie, 2017):

$$P_{air} = \rho \times g \times Q \times H \dots\dots\dots (2.8)$$

dengan :

P_{air} = Daya (Watt)

Q = Debit Aliran (m^3/s)

H = *Head*/Tinggi terjun air (m)

g = Konstanta gravitasi (9,8 m/s)

ρ = Massa jenis air (kg/m^3)

2.7.5. Daya Turbin (P_t)

Daya turbin merupakan daya yang dibangkitkan oleh turbin air dengan mengubah energi kinetik air menjadi energi mekanik berupa putaran turbin. Untuk mengetahui daya turbin yang dibangkitkan dapat dihitung dengan persamaan (2.9):

$$P_{turbin} = 2 \times \pi \times n \times \frac{T}{60} \dots \dots \dots (2.9)$$

dengan :

P_{turbin} = Daya turbin (Watt)

n = Putaran (rpm)

T = Torsi (N.m)

2.7.6. Daya Generator (P_g)

Daya generator merupakan daya yang dibangkitkan oleh sebuah sistem pembangkit setelah mengalami rugi-rugi secara keseluruhan yang diteruskan ke generator. Daya generator yang digunakan dapat dirumuskan sebagai berikut(Kurniawan et al., 2019) :

$$P_{generator} = v \times I \dots \dots \dots (2.10)$$

dengan :

v = Tegangan (Volt)

I = Arus Listrik (Ampere)

$P_{generator}$ = Daya Generator (Watt)

T = Torsi (N.m)

n = Kecepatan Putaran (rpm)

2.7.7. Efisiensi Pembangkit (η_p)

Untuk menentukan efisiensi pada Pembangkit Listrik Tenaga Air turbin *whirlpool* dilakukan perbandingan antara input dan output. Maka ditentukan dengan persamaan (2.11) :

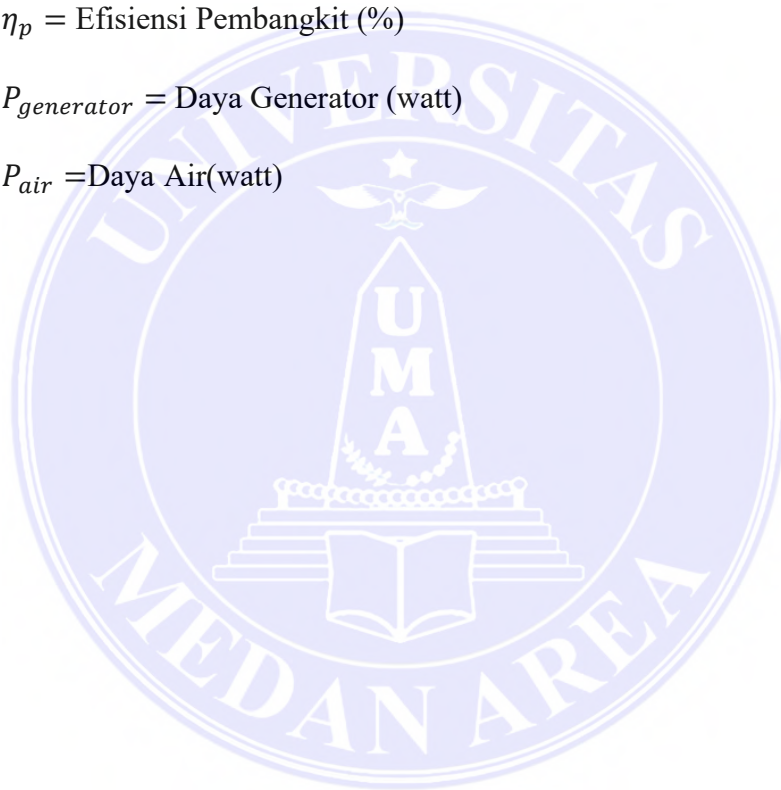
$$\eta_p = \frac{P_{generator}}{P_{air}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.11)$$

dengan :

η_p = Efisiensi Pembangkit (%)

$P_{generator}$ = Daya Generator (watt)

P_{air} = Daya Air(watt)



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

3.1.1. Waktu

Penelitian ini dilaksanakan sejak tanggal pengesahan usulan proposal tugas akhir oleh pengelola program studi sampai dinyatakan selesai yang direncanakan berlangsung selama waktu yang telah ditentukan.

Tabel 3. 1 Waktu Kegiatan Penelitian

No.	Kegiatan	Waktu Penelitian								
		Agt	Sep	Okt	Nov	Des	Jan	Mei	Agt	
1.	Studi Literatur	█								
2.	Penyusunan Proposal	█	█							
3.	Seminar Proposal			█						
4.	Pengujian Alat			█	█					
5.	Pengumpulan Data					█				
6.	Analisa Data					█				
7.	Penulisan Laporan						█	█		
8.	Seminar Hasil							█		
9.	Perbaikan								█	
10.	Ujian Sidang									█

3.1.2. Tempat

Kegiatan penelitian ini dilaksanakan di PT. Panin Mas JL. Kongsu No. 15 Marindal I, Medan Amplas 20361 Sumatera Utara-Indonesia.

3.2. Bahan dan Alat Penelitian

3.2.1. Bahan Penelitian

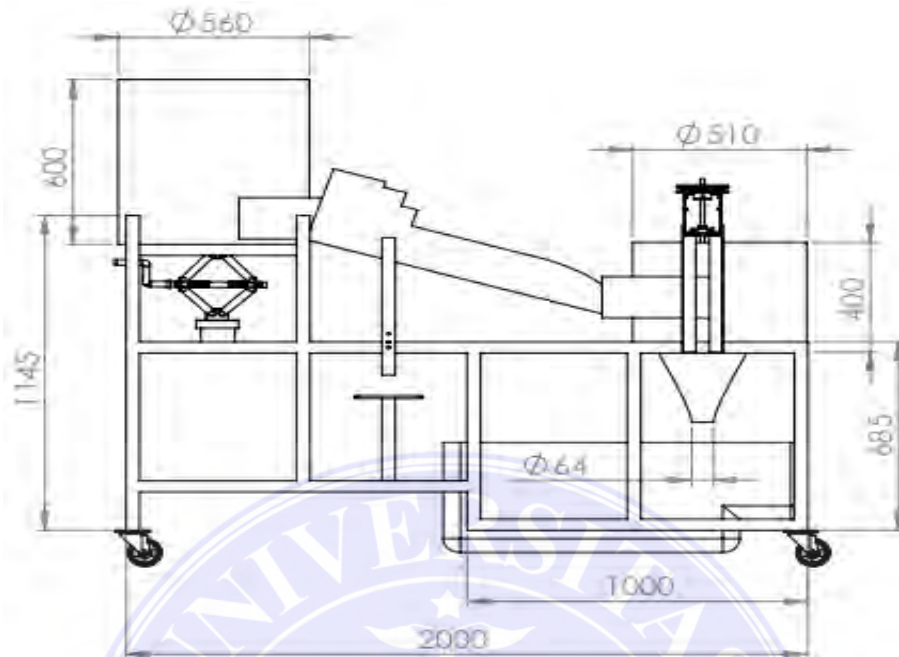
Adapun bahan penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut:

a. *Prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Air

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) skala *prototype* yang memanfaatkan tenaga (aliran) air sebagai sumber penghasil energi. Pembangkit tenaga air merupakan suatu bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian (*head*) dan debit tertentu dengan Jalur Air (*Waterway*) yang berfungsi untuk mengalirkan sejumlah debit air dengan kecepatan jatuh untuk memutar turbin dan generator (Likadja et al., 2019). Pada gambar berikut dapat dilihat *Prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Air ditunjukkan digambar 3.1. dan gambar 3.2.

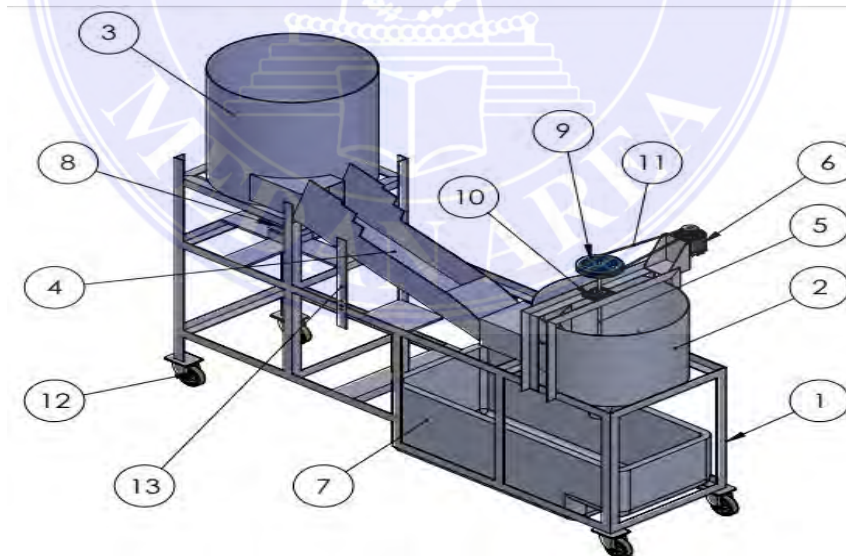


Gambar 3. 1. *Prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Air



Gambar 3. 2. Desain *Prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Air

Berikut beberapa bagian yang terdapat pada *Prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Air di tunjukkan gambar 3.10.



Gambar 3. 3. Rancangan Desain *Prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Air

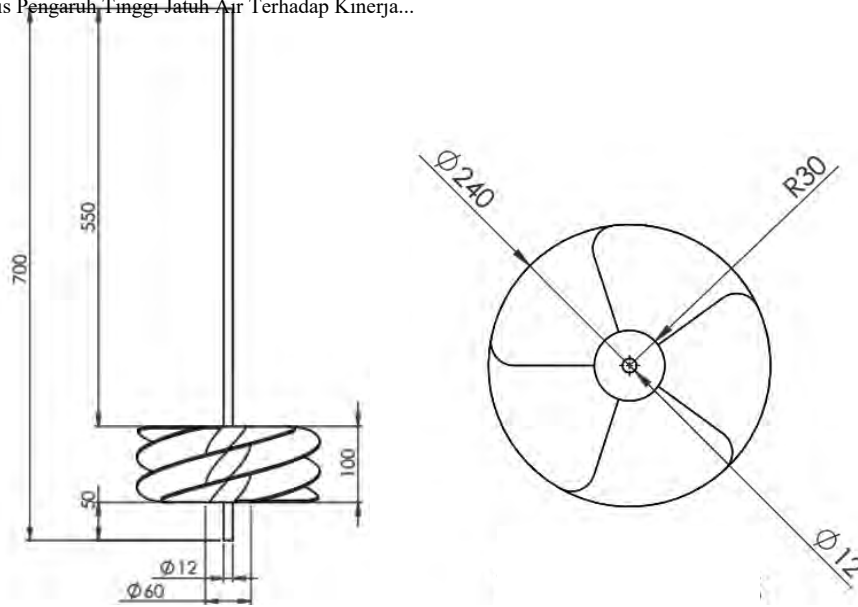
Tabel 3. 2. Tabel Keterangan *Prototype* PLTA

Nomor	Keterangan
1	Kerangka
2	Rumah Turbin
3	<i>Reservoir</i>
4	<i>Waterway</i>
5	Turbin
6	Motor Listrik DC
7	Wadah Air
8	<i>Toggle Jack</i>
9	<i>Pulley</i>
10	<i>Block Bearing</i>
11	<i>Belt</i>
12	Roda Kaki
13	Kontrol Ketinggian

b. Sudu Turbin *Whirpool*

Sudu merupakan bagian turbin yang berfungsi untuk merubah gerak pancar air menjadi gerak rotasi. Pada penelitian ini menggunakan sudu turbin dengan 5 bilah sudu, untuk melihat Gambar, dan desain dari sudu turbin *Whirpool* terdapat pada gambar 3.9. dan 3.10.

Gambar 3. 4. Sudu Turbin *Whirpool*



Gambar 3. 5. Rancangan Desain Sudu Turbin
Whirpool

3.2.1. Alat Penelitian

Adapun alat penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut:

a. *Tachometer*

Tachometer yang di tunjukan pada gambar 3.1. adalah alat pengujian yang dirancang untuk mengukur putaran dari sebuah objek, seperti alat pengukur dalam sebuah mobil yang mengukur putaran per menit dari poros engkol mesin.



Gambar 3. 6. *Tachometer*

Spesifikasi *Tachometer*:

- 1). *Display* : 5 Digits, 18MM (0.7")
- 2). *Test Range* : 2.5 to 99,999RPM
- 3). *Resolution* : 0.1 RPM (2.5 to 999.9 RPM), 1 RPM (over 1,000 RPM)
- 4). *Accuracy* : +(0.05% = 1 Digit)
- 5). *Sampling Time* : 0.8 Seconds (over 60 RPM)
- 6). *Test Range Select* : Automatic
- 7). *Memory* : Last Value, Max. Value, Min. Value
- 8). *Detecting Distance* : 50 to 200MM= 2-10 Inch (LED), 50 to 500MM=2-20 Inch (Laser)
- 9). *Time Base* : Quartz Crystal
- 10). *Battery* : 6F22 9V (tidak termasuk)
- 11). *Power Consumption* : Approx. 35Ma (LED) or Approx. 30Ma (Laser)
- 12). *Size* : 131 x 70 x 38mm

b. Meter ukur

Meteran atau Meter ukur yang ditunjukkan pada gambar 3.2. memiliki fungsi yang mirip seperti penggaris. Bedanya, dimensi meteran lebih panjang serta terbuat dari bahan yang lebih fleksibel daripada penggaris. Meteran ini digunakan untuk mengukur panjang saluran ataupun tinggi jatuh air. Hal ini ditujukan agar praktis saat digunakan.



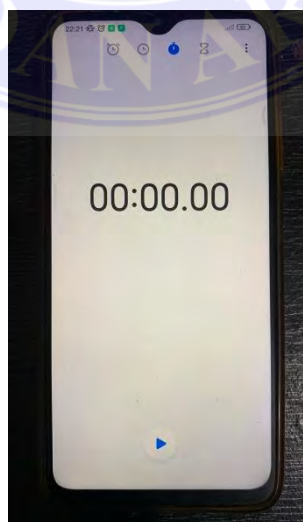
Gambar 3. 7. Meter Ukur

Spesifikasi Meter ukur:

- 1). Tipe : Meter Bangunan
- 2). Berat : 0,3 Kg
- 3). Panjang : 7.500 mm
- 4). Lebar Meteran : 19 mm

c. *Stopwatch*

Stopwatch adalah alat yang digunakan untuk mengukur durasi waktu yang diperlukan dalam kegiatan penelitian saat mesin beroperasi seperti yang terlihat pada gambar 3.3.



Gambar 3. 8. *Stopwatch*

Spesifikasi *Stopwatch*:

1). Tipe : *Stopwacth handphone*

2). Berat : 190 gram

d. *Multi Tester*

Multi Tester merupakan sebuah alat pengukur yang digunakan untuk mengetahui ukuran tegangan listrik, resistansi, dan arus listrik. Dalam perkembangannya, dapat digunakan untuk mengukur temperatur, frekuensi, dan lainnya. Multi tester dapat kita lihat pada gambar 3.4.



Gambar 3. 9. *Multi tester*

Spesifikasi *Multi tester*:

1) Tipe : SANWA CD800a

2) DC voltage : 400 m / 4 / 40 / 400 / 600 V resolusi 0,1 mV

3) AC voltage : 4 / 40 / 400 / 600 V, resolusi 1 mV

4) DC current : 40m / 400 mA, resolusi 0,01 mA.

5) AC current : 40 m / 400 mA, resolusi 0,01 mA.

6) *Resistance* : 400 / 4 k / 40 k / 400 k / 4 M / 40 M ohm

7) *Size* : 31,5 mm x 91 mm x 189 mm

e. Timbangan Tangan Digital

Timbangan merupakan alat yang digunakan dalam melakukan pengukuran massa suatu benda, dimana dalam penelitian ini digunakan untuk mengukur torsi yang dihasilkan oleh turbin *Whirpool*. Timbangan tangan digital dapat kita lihat pada gambar 3.5.



Gambar 3. 10. Timbangan Tangan Digital

Spesifikasi Timbangan tangan digital:

- 1). Kapasitas : 50 kg / 10 g (unit : g,kg,lb,oz)
- 2). *Power* : 3V (CR2023-1pcs)
- 3). *Data lock function with LCD indication*
- 4). *Overload indication*

f. Generator

Generator adalah sebuah mesin yang digunakan untuk mengkonversi atau merubah energi gerak (*mekanik*) menjadi energi listrik (*elektrik*). Generator dapat dilihat pada gambar 3.6 dibawah.



Gambar 3. 11. Generator

Spesifikasi generator:

- 1). Tegangan listrik : 24 Volt
 - 2). Arus : 1,92 Ampere
 - 3). Daya keluar : 30 Watt
 - 4). Putaran maksimal : 1800 rpm
 - 5). Torsi : 0,159 N.m
- g. Pompa

Pada PLTA diperlukan debit air yang besar agar turbin air dapat berputar dan menghasilkan daya listrik. Berdasarkan penelitian yang akan dilakukan, peneliti menggunakan pompa air Robin Model SU 50. Gambar pompa air terdapat digambar 3.7.



Gambar 3. 12. Pompa Air

Spesifikasi :

- 1). *Connection* : 50 mm
- 2). *Delivery Volume* : 560 l/min
- 3). *Total Head* : 33 m
- 4). *Power Speed* : 3600 rpm

3.3. Metode Penelitian

Metode penelitian dilakukan yaitu dengan cara experiment. Variabel bebas yaitu tinggi jatuh air (*head*), debit air, dan torsi. Kemudian variabel terikat yaitu daya serta efisiensi yang dihasilkan.

3.4. Populasi dan Sampel

3.4.1. Populasi

Dalam penelitian ini populasi yang digunakan adalah tinggi jatuh air (*head*), debit air, daya air, daya generator, torsi, daya turbin dan efisiensi. Jumlah populasi sebanyak 21, populasi tinggi jatuh air (*head*) = 3 populasi debit air = 3 populasi daya air = 3 populasi daya generator = 3 populasi torsi = 3 populasi daya turbin = 3 dan populasi efisiensi = 3.

Tabel 3. 3. Tabel Populasi

No	Kinerja <i>Prototype</i> PLTA	Populasi
1	Tinggi jatuh air (<i>head</i>)	3
2	Debit air	3
3	Daya air	3
4	Daya generator	3
5	Torsi	3
6	Daya turbin	3
7	Efisiensi	3
	Jumlah	21

3.4.2. Sampel

Teknik pengambilan sampel yang dilakukan dari masing-masing populasi menggunakan sampel dengan data populasi tertinggi. Kemudian disimpulkan bahwa jumlah sampel yang diperoleh adalah 7 sampel.

Tabel 3. 4. Tabel Sampel

No	Kinerja <i>Prototype</i> PLTA	Populasi	Sampel
1	Tinggi jatuh air (<i>head</i>)	3	1
2	Debit air	3	1
3	Daya air	3	1
4	Daya generator	3	1
5	Torsi	3	1
6	Daya turbin	3	1
7	Efisiensi	3	1
	Jumlah	21	7

3.5. Prosedur Kerja

Prosedur kerja pada penelitian dengan menganalisis kinerja dari *prototype* PLTA berisikan tinggi jatuh air (*head*), volume tabung air, torsi, daya yang dihasilkan dan efisiensi.

Adapun beberapa prosedur kerja yang dilakukan adalah :

- a. Menyusun alat dan bahan pada penelitian.
- b. Mengatur Tinggi Jatuh Air (*head*) dengan 3 variasi 0,55 m, 0,60 m, dan 0,67 m, menggunakan baut berukuran 12 mm pada penyangga jalur air (*wateray*) yang di tunjukkan pada gambar 3.13.



Gambar 3. 13. Kontrol Tinggi Jatuh Air (*Head*)

- c. Mengisi air kedalam wadah air serta menghidupkan pompa air SU 50 untuk memompa air dari wadah air/*reservoir* bawah ke tabung *reservoir* atas yang akan mengalir melalui pipa ditunjukkan digambar 3.14.



Gambar 3. 14. Proses Memasukkan Air Kedalam *Reservoir* Atas

- d. Menunggu hingga tabung *reservoir* atas terisi air sebanyak 110,70L.
- e. Membuka pintu air dengan ukuran yang dipakai ialah 0,0635 m seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.15.



Gambar 3. 15. Pembukaan Pintu Air

- f. Menghitung kecepatan putaran pada turbin menggunakan *tachometer* yang terhubung dengan generator dengan jarak 20 cm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.16.



Gambar 3. 16. Pengambilan Kecepatan Putaran Turbin Dengan Terhubung Generator

- g. Menghitung kecepatan putaran pada turbin menggunakan *tachometer* yang tidak terhubung dengan generator dengan jarak 20 cm ditunjukkan digambar 3.17.



Gambar 3. 17. Pengambilan Kecepatan Putaran Turbin Tidak Terhubung Generator

- h. Mengukur tegangan listrik menggunakan multimeter yang disambungkan dengan generator dapat dilihat digambar 3.18.



Gambar 3. 18. Proses Mencari Tegangan Listrik

- i. Mengukur arus listrik dengan menggunakan *multitester* yang disambungkan dengan generator ditunjukkan digambar 3.19.



Gambar 3. 19. Proses Mencari Arus Listrik

- j. Kemudian menghitung debit dalam 3 kali percobaan dengan tinggi jatuh air 0,55 m, 0,60 m, dan 0,67 m menggunakan rumus pada pers 2.6.
- k. Menghitung daya air yang dihasilkan oleh *prototype* PLTA dengan rumus pers 2.8.
- l. Menghitung daya generator yang dihasilkan oleh *prototype* PLTA dengan rumus pers 2.10.

- m. Menghitung torsi dengan metode *prony brake* ditunjukkan digambar 3.20.



Gambar 3. 20. Proses Pengambilan Data dengan Metode *Prony Brake*

- n. Menghitung daya turbin yang dihasilkan oleh *prototype* PLTA dengan menggunakan rumus pers 2.9.
- o. Selanjutnya menghitung efisiensi *prototype* PLTA yang menggunakan turbin *Whirpool* dengan menggunakan persamaan 2.11.
- p. Terakhir melakukan percobaan pada *prototype* PLTA.



Gambar 3. 21. Percobaan *Prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Air

Adapun parameter yang diukur adalah sebagai berikut:

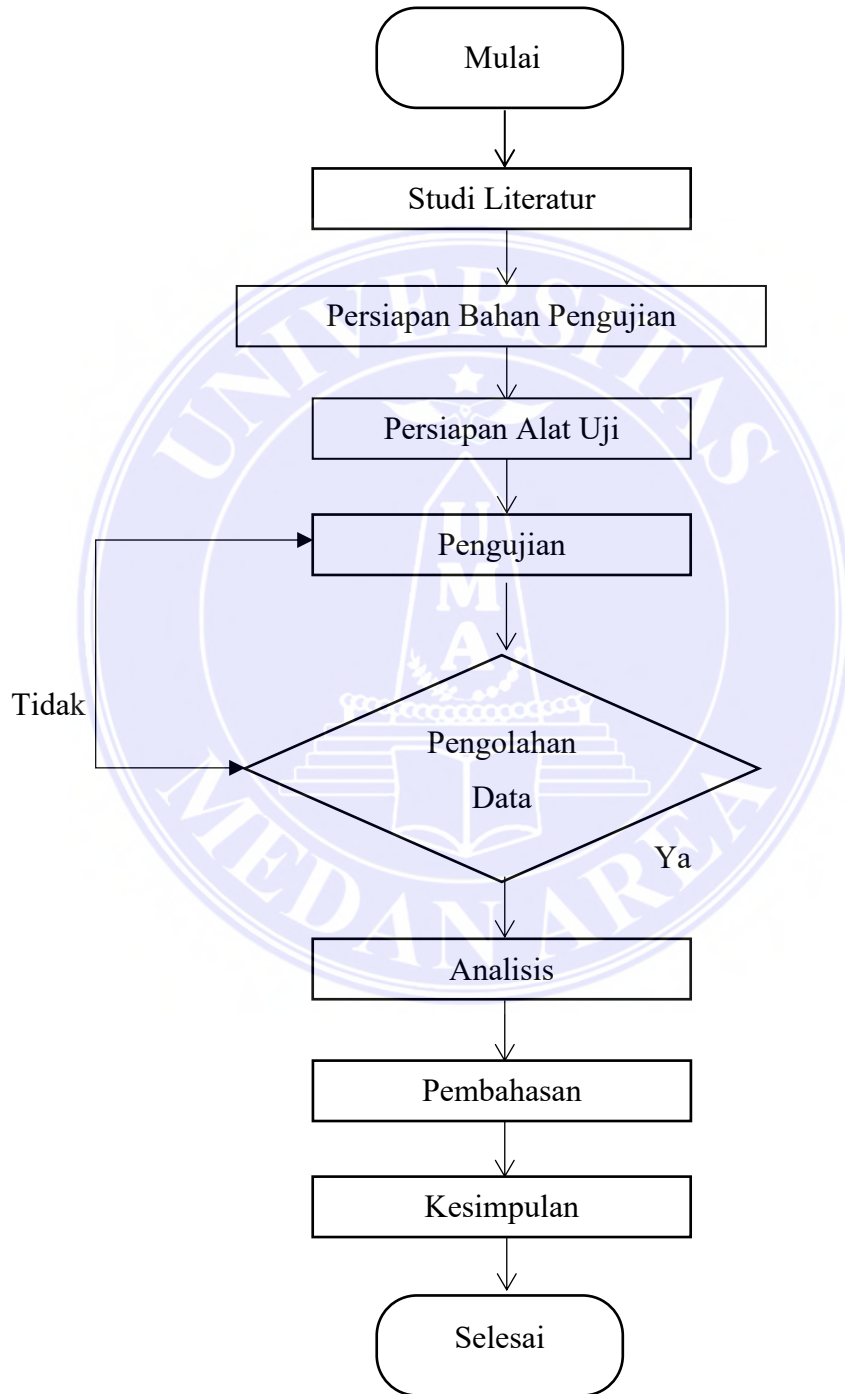
Tabel 3. 5. Tabel Parameter Pengukuran

Parameter Pengukuran	Alat Ukur
Tinggi Jatuh Air/ <i>Head</i> (m)	Meteran
Putaran (rpm)	Tachometer
Berat (N)	Timbangan Tangan Digital
Tegangan (V) dan Kuat Arus (A)	Multistester



3.5.1. Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah diagram alir dari beberapa tahapan yang dilakukan dalam proses penelitian ini seperti ditampilkan pada gambar berikut:



Gambar 3. 22. Diagram Alir Penelitian

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada *prototype* PLTA, dimana dilaksanakan 3 kali uji coba dengan hasil data tinggi jatuh air (*head*), debit air, torsi, daya serta efisiensi, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

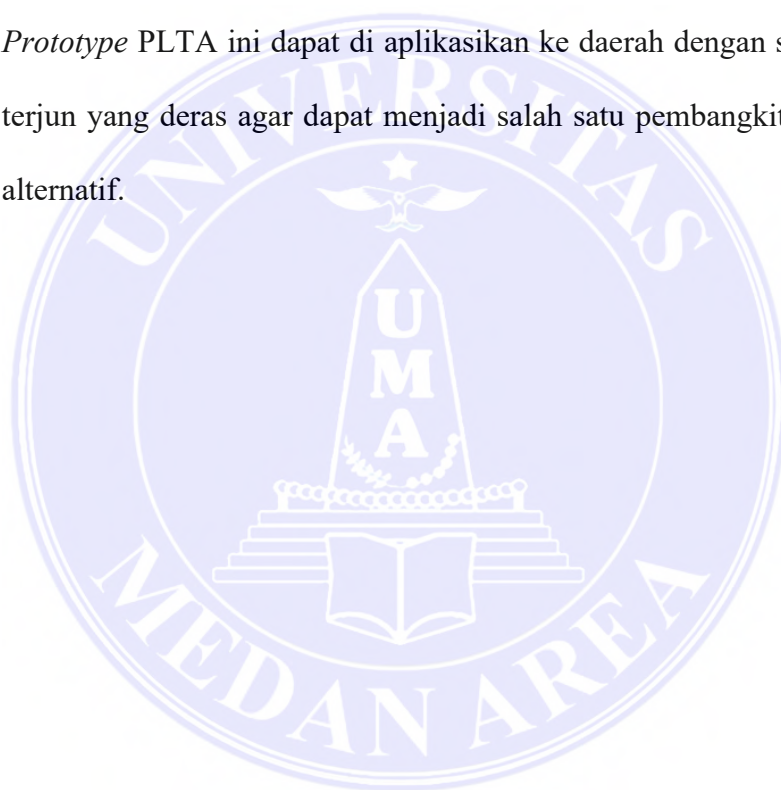
1. Tinggi jatuh air berpengaruh terhadap kinerja pembangkit listrik tenaga air turbin tipe *whirpool*, karena semakin tinggi jatuh air maka semakin besar kinerja pembangkit listrik tenaga air. Hal ini dibuktikan dari hasil uji coba ke 3, potensi tinggi jatuh air (*head*) terbaik dengan tinggi 0,67 m pada *Prototype* PLTA pada uji coba ke 3 dengan bukaan pintu air yang berdiameter 0,0625 m dengan debit air 0,01143 m³/s, sedangkan debit air terendah pada tinggi jatuh air (*head*) 0,55 m dengan debit air 0,01036 m³/s.
2. Dari percobaan yang dilakukan daya air terbesar pada uji coba ke 3 tinggi jatuh air (*head*) 0,67 m dengan bukaan pintu air yang berdiameter 0,0625 m didapat daya air 74,90 Watt, daya generator 5,16 Watt, torsi 0,233 N.m, daya turbin tanpa beban generator 3,73 Watt, daya turbin dengan beban generator 2,63 Watt dan efisiensi 6,89 %.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian “Analisis Pengaruh Tinggi Jatuh Air Terhadap Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Air Menggunakan Turbin Tipe *Whirpool*” sebagai berikut :

1. Untuk kontrol tinggi jatuh air membutuhkan dongkrak/jack yang lebih tinggi agar tekanan air lebih kuat saat air menabrak sudu turbin.

2. Untuk debit air dan daya yang dihasilkan lebih besar dibutuhkan pompa air yang lebih kuat.
3. Semakin banyak volume air yang digunakan semakin efisien *Prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Air.
4. Pada turbin air menggunakan pulley yang lebih besar diameternya serta pulley yang terdapat digenerator diperkecil sehingga putaran turbin air lebih maksimal.
5. *Prototype* PLTA ini dapat di aplikasikan ke daerah dengan sungai atau air terjun yang deras agar dapat menjadi salah satu pembangkit listrik tenaga alternatif.



DAFTAR PUSTAKA

- Buyung, S. (2013). Pembangkit Listrik Tenaga Micro Hydro. 2013, 1–8.
- Damastuti, A. P. (1997). Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. *Wacana No. 8 / Mei - Juni 2017*, 7(8), 11–12.
- Dewangga, Y. A., Kholis, N., Baskoro, F., & Haryudo, S. I. (2022). *Pengaruh Jumlah Sudu Turbin Air Terhadap Kinerja Generator Pembangkit Listrik Tenaga Air*. 79–84.
- Esron Robet Lubis, I. H., & Siahaan, M. Y. R. (2022). Pembuatan pembangkit listrik tenaga mikrohidro turbin ulir skala laboratorium. *Teknovasi*, 09(2021), 34–45.
- HASIBUAN, A. (2020). Tugas Akhir Tugas Akhir. *Jurnal Ekonomi Volume 18, Nomor 1 Maret 201*, 2(1), 41–49.
- I Gusti Ngurah Saputra¹, Lie Jasa², I. W. A. W. (2020). PENGARUH JUMLAH SUDU PADA PROTOTYPE PLTMH. *SPEKTRUM*, 7(4), 161–172.
- Jalaluddin, J., Akmal, S., ZA, N., & Ishak, I. (2019). Analisa Profil Aliran Fluida Cair Dan Pressure Drop Pada Pipa L Menggunakan Metode Simulasi Computational Fluid Dynamic (Cfd). *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 8(1), 97. <https://doi.org/10.29103/jtku.v8i1.3396>
- Juliana, I. P., Weking, A. I., & Jasa, L. (2018). Pengaruh Pengaruh Sudut Kemiringan Head Turbin Ulir Terhadap Daya Putar Turbin Ulir Dan Daya Output Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 17(3), 393. <https://doi.org/10.24843/mite.2018.v17i03.p14>
- Krishnastana, A. K., Jasa, L., & Weking, A. I. (2018). Studi Analisis Perubahan Debit dan Tekanan Air Pada Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 17(2), 257. <https://doi.org/10.24843/mite.2018.v17i02.p14>
- Kurniawan, Y. H., Mujiburrahman, & Arifin, J. (2019). Efektifitas Sudu Sudu

Pengaruh Pada Perancangan Turbin Kaplan Tipe Open Flume Dengan Daya 100 W. *Concept and Communication*, 23, 301–316.

Likadja, F., Sampeallo, A. S., & Amaral, C. R. D. N. R. (2019). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pltmh) Memanfaatkan Outlet Kondensor Pltu Ii Ntt Di Desa Bolok Kecamatan Kupang Barat, Kabupaten Kupang. *Jurnal Media Elektro*, VIII(2), 155–163. <https://doi.org/10.35508/jme.v0i0.1858>

Misbachudin, M., Subang, D., Widagdo, T., Yunus, M., Teknik, J., Politeknik, M., Sriwijaya, N., Srijaya, J., & Bukit Besar, N. (2016). Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Di Desa Kayuni Kabupaten Fakfak Provinsi Papua Barat. *Austenit*, 8(2), 1–12. <http://www.micro-hydro-power.com/Turgo-Inclined->

Murniati, T., & Antoro, D. (2020). *Analisis Kinerja Turbin Air Vortex Gravitasi* *. September, 28–29.

Ointu, S., Surusa, F. E. P., & Zainuddin, M. (2020). Studi Perencanaan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Berdasarkan Potensi Air yang Ada di Desa Pinogu. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 2(2), 30–38. <https://doi.org/10.37905/jjee.v2i2.4618>

Okinawa, O., Hermawan, I., & Idris, M. (2021). Analisis Pengaruh Debit Air Terhadap Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pltmh). *Jurnal Teknovasi*, 08, 49–59.

Setiawan Wie, D. (2017). Perencanaan Dan Implementasi Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pltmh). *Jurnal Teknik Elektro*, 7(01).

Sutanto, B., Herlambang, Y. D., Bono, Alfauzi, A. S., & Munawwaroh, D. A. (2021). *Jurnal Online Tersedia pada* : <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/eksergi> Copyright © EKSERGI Jurnal Teknik Energi Vol.17 No.1 Januari 2021 15. *Jurnal Teknik Energi*, 17(1), 15–24.

Wedanta, I. putu W. I., Arta Wijaya, W., & Jasa, L. (2021). Analisa Pengaruh Kemiringan Head Dan Variasi Sudut Blade Turbin Ulir Terhadap Kinerja Pltmh. *Teknik Elektro*, 8(1), 73.

