

# **ANALISIS PENGARUH DEBIT AIR TERHADAP KINERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH)**

**SKRIPSI**

**OLEH:**

**OLOAN OKINAWA  
178130096**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2022**

**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 21/6/22

Access From (repository.uma.ac.id)21/6/22

**ANALISIS PENGARUH DEBIT AIR TERHADAP KINERJA  
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH)**

**SKRIPSI**

**OLEH:**

**OLOAN OKINAWA  
178130096**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2022**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 21/6/22

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

Access From (repository.uma.ac.id)21/6/22

### HALAMAN PENGESAHAN BUKU SKRIPSI

Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Debit Air Terhadap Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

Nama : OLOAN OKINAWA  
NPM : 178130096  
Bidang Keahlian : Konversi Energi  
Fakultas : TEKNIK  
Program Studi : TEKNIK MESIN

Disetujui Oleh Komisi Pembimbing :

Pembimbing II

Pembimbing I

(Muhammad Idris, ST., MT)  
NIDN : 0106058104

(Indra Hermawan, ST., MT)  
NIDN : 0114048001

Diketahui Oleh :

Dekan

Ka. Prodi Teknik Mesin

(Dr. Rahmad Syah S.Kom, M.Kom)  
NIDN : 0105058804

(Muhammad Idris, ST., MT)  
NIDN : 0106058104

Tanggal Lulus : 02 Februari 2022

### HALAMAN PERNYATAAN

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

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademi yang saya peroleh dan sanksi lainnya apabila dikemudian hari ditemukan unsur plagiat dalam skripsi ini.

Medan, Februari 2022

Hormat saya,



(OLOAN OKINAWA)  
(178130096)

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

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

Nama : Oloan Okinawa  
NPM : 178130096  
Fakultas : TEKNIK  
Program Studi : TEKNIK MESIN  
Jenis Karya : Tugas Akhir / Skripsi

Demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Royalti Non eksklusif (*non-exclusive Royalti-free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**“Analisis Pengaruh Debit Air Terhadap Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)”**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas Royalti, non eksklusif ini, Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir/skripsi saya selama saya tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis / pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Medan, Februari 2022  
Yang menyatakan :



(OLOAN OKINAWA)  
(178130096)

## ABSTRAK

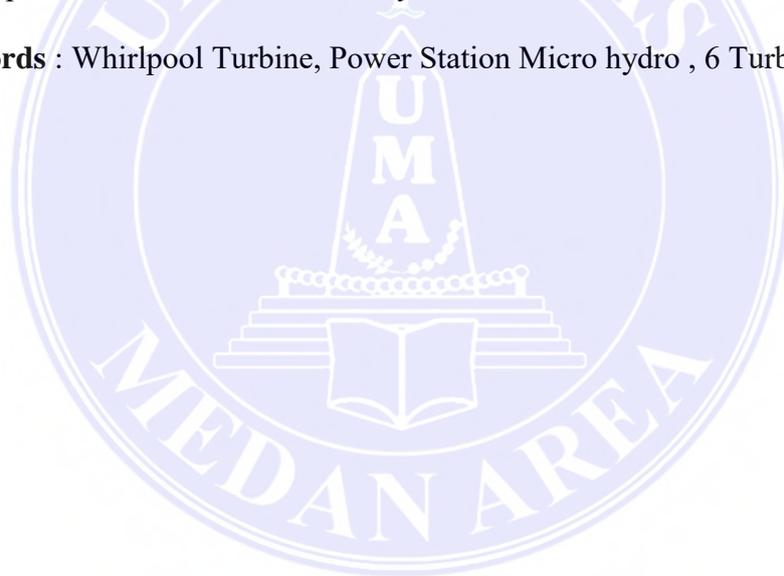
Listrik merupakan salah satu sumber energi yang digunakan oleh manusia yang dihasilkan melalui sebuah sistem pembangkit listrik. Penyedia listrik di Indonesia masih belum merata bahkan di daerah terpencil masih banyak yang belum terjangkau aliran listrik. Dengan adanya masalah ini salah satu pembangkit listrik terbaru yang dapat dimanfaatkan adalah sistem PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga *Mikrohidro*). Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh debit air terbaik, daya serta kinerja yang digunakan dalam pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH). Hal yang mempengaruhi debit air pada pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) adalah bukaan pintu air yang berada di jalur air atau jalur waterway dan volume dari tabung penampung atas (Tabung Reservoir). Bukaan pintu air yang digunakan dalam penelitian ini adalah 5 cm, 6 cm dan 7 cm. Semakin besar debit air yang dihasilkan maka semakin besar daya yang diperoleh oleh turbin namun dengan waktu yang lebih singkat. Begitu juga sebaliknya jika debit air yang dihasilkan semakin sedikit maka daya yang diperoleh oleh turbin semakin kecil namun dengan waktu yang lama. Hasil penelitian menunjukkan turbin *whirlpool* dengan menggunakan 6 buah sudu dengan volume air 58 L dan bukaan pintu air 7 cm menghasilkan debit air 0,00625 m<sup>3</sup>/s dengan daya air 14,10 Watt, daya generator 4,56 Watt, torsi 0,0077 N.m, daya turbin 0,72 Watt dan efisiensi 32,3 %.

**Kata kunci :** Turbin *Whirlpool*, Pembangkit Listrik Mikrohidro, 6 sudu turbin

## ABSTRACT

Electricity is one of the sources of energy used by humans which is produced through a power generation system. Electricity providers in Indonesia are still not evenly distributed, even in remote areas, there are still many that have not been reached by electricity. With this problem, one of the renewable power plants that can be utilized is the PLTMH system (Microhydro Power Plant). The purpose of this research is to obtain the best water discharge, power and performance used in micro hydro power plants (PLTMH). Things that affect the water discharge at the micro hydro power plant (PLTMH) are the opening of the sluice gate in the waterway or the waterway and the volume of the upper reservoir tube (Reservoir Tube). The floodgates used in this study were 5 cm, 6 cm and 7 cm. The greater the flow of water produced, the greater the power obtained by the turbine but with a shorter time. Vice versa if the water discharge produced is less then the power obtained by the turbine is getting smaller but with a longer time. The results showed that a whirlpool turbine using 6 blades with a water volume of 58 L and a sluice gate opening 7 cm produces a water discharge of 0.00625 m<sup>3</sup>/s with a water power of 14.10 Watt, a generator power of 4.56 Watt, a torque of 0.0077 N.m, turbine power 0.72 Watt and efficiency 32.3%.

**Keywords** : Whirlpool Turbine, Power Station Micro hydro , 6 Turbine Valves



## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Oloan Okinawa, dilahirkan di Desa Aek Tolang, Kecamatan Pandan, Kabupaten Tapanuli Tengah, Provinsi Sumatera Utara, tanggal 12 Maret 1997 dan Ayah bernama Ahlian Gultom dan Tiurma Hutagalung, penulis merupakan anak kedua dari empat bersaudara. Penulis menyelesaikan pendidikan sekolah dasar pada tahun 2009 di SD SW.ST.FRANSISKUS Tapanuli Tengah, dan menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Pertama pada tahun 2012 di SMP NEGERI 2 PANDAN NAULI Kecamatan Tapanuli Tengah, dan juga penulis menyelesaikan sekolah menengah atas di SMA NEGERI 3 SIBOLGA pada tahun 2015 kota Sibolga, Kabupaten Tapanuli Tengah, Provinsi Sumatera Utara. Pada Tahun 2017 penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Universitas Medan Area, Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin dan Selesai Pada Tahun 2022.

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang memberikan berupa kesehatan kepada penulis sehingga mampu menyelesaikan penulisan skripsi ini. Penelitian ini merupakan Tugas Akhir guna memenuhi syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik pada Universitas Medan Area.

Dalam Penulisan dan penelitian skripsi ini banyak kendala yang penulis alami, namun berkat bantuan moril dan material dari berbagai pihak, maka skripsi ini dapat diselesaikan, untuk itu penulis mengucapkan terimakasih :

1. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng. MSc., selaku Rektor Universitas Medan Area.
2. Dr. Rahmad Syah, S.Kom, M.Kom., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
3. Ibu Susilawati, S.Kom, M.Kom., selaku Wakil Dekan Bidang Akademik Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
4. Bapak Muhammad Idris, ST, MT., selaku Ketua Prodi Teknik Mesin.
5. Dosen Pembimbing I yaitu Bapak Indra Hermawan, ST, MT.
6. Dosen Pembimbing II yaitu Bapak Muhammad Idris, ST, MT.
7. Bapak dan Ibu Dosen, serta pegawai di Fakultas Universitas Medan Area.
8. Para staf-staf karyawan tersebut terimakasih telah membantu selama pemberkasan skripsi ini.
9. Ahlian Gultom S.Sos dan Tiurma Hutagalung, selaku orang tua saya yang telah memberikan motivasi dan dukungan atas terselesaikannya skripsi ini.
10. Kartini Pratiwi Gultom S.Kom, Edo Putu Ray Gultom dan Jordan Natio Gultom, selaku Kakak dan Adek kandung saya yang telah membantu



## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	i
HALAMAN PERNYATAAN .....	ii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	iii
ABSTRAK .....	iv
ABSTRACT .....	v
RIWAYAT HIDUP PENULIS .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR NOTASI.....	xiv
BAB I. PENDAHULUAN .....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	2
C. Batasan Masalah .....	3
D. Tujuan Penelitian.....	3
E. Manfaat Penelitian .....	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
A. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) .....	4
1. Pengertian Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) ...	4
2. Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)	4
B. Turbin Air .....	5
C. Klasifikasi Turbin Air.....	6
1. Turbin Impuls .....	6
2. Turbin Reaksi.....	6

D. Turbin <i>Whirlpool</i> .....	6
E. Aliran Fluida .....	8
F. Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro(PLTMH) .....	10
1. Debit Air .....	10
2. Torsi .....	11
G. Daya Yang Terbangkitkan .....	12
1. Efisiensi PLTMH .....	14
H. Pompa .....	14
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN .....	16
A. Tempat dan Waktu Penelitian .....	16
B. Alat dan Bahan .....	16
1. Alat Penelitian .....	17
2. Bahan Penelitian .....	19
C. Prosedur Penelitian .....	21
D. Bagan Alur Penelitian .....	25
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	26
A. HASIL PENELITIAN .....	26
B. PEMBAHASAN .....	30
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN .....	34
A. KESIMPULAN .....	34
B. SARAN .....	34
DAFTAR PUSTAKA .....	36
LAMPIRAN .....	38

## DAFTAR GAMBAR

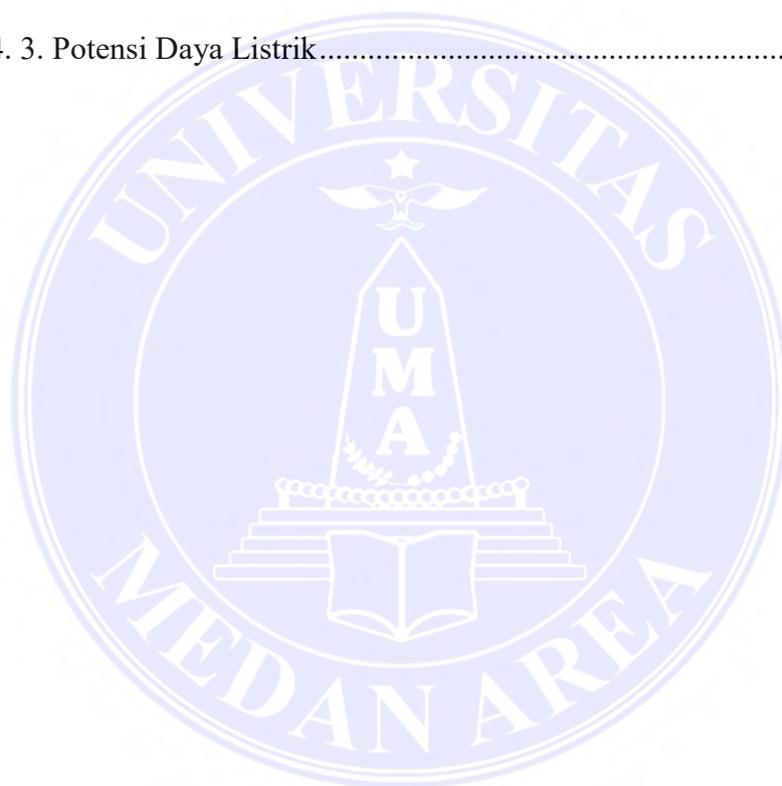
	Halaman
Gambar 2. 1. Prinsip Kerja PLTMH .....	4
Gambar 2. 2. Skema PLTMH .....	5
Gambar 2. 3. Turbin <i>Whirlpool</i> .....	7
Gambar 2. 4. Turbin <i>Whirlpool</i> .....	8
Gambar 2. 5. Aliran Laminar .....	8
Gambar 2. 6. Aliran Transisi.....	9
Gambar 2. 7. Aliran Turbulent.....	9
Gambar 2. 8. Teori Persamaan Kontinuitas .....	11
Gambar 2. 9. Metode Prony Brake .....	12
Gambar 2. 10. Pompa Air .....	15
Gambar 3. 1. Tachometer.....	17
Gambar 3. 2. Stopwatch.....	17
Gambar 3. 3. Meteran atau Meter ukur.....	18
Gambar 3. 4. Multi Tester.....	19
Gambar 3. 5. Timbangan Digital .....	19
Gambar 3. 6. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro .....	20
Gambar 3. 7. Tampak Atas Tabung Reservoir Atas, Tabung Turbin dan Jalur Waterway .....	20
Gambar 3. 8. Tampak Samping Tabung Reservoir Atas, Tabung Turbin dan Jalur Waterway .....	21
Gambar 3. 9. Sudu Turbin <i>Whirlpool</i> .....	21
Gambar 3. 10. Proses Memasukkan Air Kedalam Tabung.....	22
Gambar 3. 11. Proses Pembukaan Pintu Air .....	22
Gambar 3. 12. Proses Pengambilan Kecepatan Putaran Turbin.....	23
Gambar 3. 13. Proses Mencari Tegangan dan Ampere.....	23
Gambar 3. 14. Proses Pengambilan Data Beban dengan Metode Prony Brake....	24

Gambar 3. 15. Percobaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro .....	24
Gambar 3. 16. Flow Chart.....	25
Gambar 4. 1. Perbandingan Debit Air dengan Putaran Turbin .....	30
Gambar 4. 2. Perbandingan Debit Air dengan Daya Air .....	31
Gambar 4. 3. Perbandingan Debit Air dengan Daya Generator.....	31
Gambar 4. 4. Perbandingan Debit Air dengan Daya Turbin.....	32
Gambar 4. 5. Perbandingan Debit Air dengan Torsi.....	33



## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2. 1. Efisiensi Turbin.....	13
Tabel 2. 2. Efisiensi Mikro Hidro menurut Harvey .....	14
Tabel 3. 1. Jadwal Kegiatan Penelitian .....	16
Tabel 4. 1. Ukuran Tabung Reservoir Atas , Tabung Turbin dan Jalur Waterway	26
Tabel 4. 2. Percobaan Debit Air.....	27
Tabel 4. 3. Potensi Daya Listrik.....	29



## DAFTAR NOTASI

SIMBOL	ARTI	SATUAN
m	Massa	kg
g	gravitasi	9,8 m/s
v	Kecepatan	m/s
V	Volume	m <sup>3</sup>
Q	Debit air	m <sup>3</sup> /s
A	Luas Penampang	m <sup>2</sup>
P	Daya	Watt
I	Arus Listrik	Ampere
P <sub>g</sub>	Daya Generator	Watt
H	Tinggi Jatuh Air	m
h	Kedalam Air	m
L	Panjang Lintasan	m
l	Lebar saluran	m
v	Tegangan Listrik	volt
t	Waktu	s
t'	Tinggi Tabung	m
ρ	Massa air	kg/m <sup>3</sup>
η	Efisiensi	%
η <sub>T</sub>	Efisiensi Turbin	%
η <sub>G</sub>	Efisiensi Generator	%
T	Torsi	N.m
F	Gaya	N
r	Jari-jari poros	m
n	Kecepatan putaran	rpm
π	pi	3,14 atau $\frac{22}{7}$

# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Listrik adalah salah satu bentuk sumber energi yang digunakan manusia yang dihasilkan melalui sistem pembangkit listrik. Saat ini ada beberapa pembangkit yang banyak digunakan adalah pembangkit listrik tenaga air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Gas Bumi (PLTG), Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN).

Pendistribusian listrik di Indonesia untuk sekarang belum merata, karena beberapa daerah yang belum memperoleh listrik masih menggunakan PMLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel). Daya tampung yang dimiliki pembangkit listrik tenaga air ialah *Large-Hydro*  $\geq 100\text{MW}$ , *Medium-Hydro* 15 – 100MW, *Small-Hydro* 1 – 15MW, *Mini-Hydro* 100kW – 1MW, *Micro-Hydro* 100kW, serta *Pico-Hydro* Dibawah 5kW[1].

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh daya sebesar 700,72 MW dihidupkan melalui 4 unit generator, setiap bagian memiliki daya sebesar 175,18 MW, debit aliran air 10,00 l/s, *head* awal 355,7 m, *head* saat ini 384,66 m dan *head* rata-rata 635,66 m[2].

Menurut penelitian sebelumnya menjelaskan bahwasannya daya turbin sangat berpengaruh terhadap tinggi jatuhnya air dan debit air yang dihasilkan. Debit yang digunakan untuk PLTMH Desa Sanankerto pada turbin 1 dan 2 yaitu sebesar 0,30 m<sup>3</sup> /det dengan ketinggian jatuh airnya 1.415 m dan 0,470 m, pada

turbin 3 memakai debit 0,37 m<sup>3</sup> /det dengan tinggi jatuh airnya adalah 1,854 m menghasilkan potensi daya yang dihasilkan pada PLTMH tersebut keseluruhan sebesar 10.054 kW[3].

Penelitian lainnya menjelaskan besarnya debit air mempengaruhi besar daya serta *efficiency* total. Dikarenakan adanya *head*, panjang, diameter pipa pesat, kecepatan aliran air. Total daya yang di hasilkan 10,03 MW, debit 6 m<sup>3</sup> /detik, *head* 52,6 m, sefisipikasi turbin serta generator 90 %[4].

Sementara itu penelitian lainnya menjelaskan generator akan menghasilkan tegangan besar ketika dilakukannya perubahan pada debit air. Shingga perubahan tekanan dan debit air bervariasi 0,5 l/s, 1 l/s, 1,5 l/s, 2 l/s, tegangan yang masuk serta keluar dihasilkan pada sudu setengah lingkaran dengan posisi nozzle 650 yaitu sebesar 1,994 Volt dan 0,332 Ampere pada perubahan debit air[5].

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dilakukan penelitian dengan judul:

“Analisis Pengaruh Debit Air Terhadap Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)”

## **B. Rumusan Masalah**

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

1. Bagaimana pengaruh debit air terhadap daya yang dihasilkan PLTMH?
2. Berapakah daya yang dapat dihasilkan PLTMH?
3. Bagaimana kinerja dari PLTMH?

### C. Batasan Masalah

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

1. Menganalisis debit air terhadap daya yang dihasilkan PLTMH.
2. Menganalisis daya yang dihasilkan oleh PLTMH.
3. Mengetahui kinerja dari PLTMH.
4. Menggunakan Turbin *Whirlpool* dengan menggunakan 6 sudu.
5. Menggunakan jenis air yaitu air PAM.

### D. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menghitung debit air terbaik yang digunakan PLTMH.
2. Menentukan daya yang dihasilkan PLTMH.
3. Menganalisis kinerja dari PLTMH.

### E. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah :

1. Terhadap peneliti, dapat menyelesaikan program perkuliahan Sarjana Universitas Medan Area.
2. Memberikan sumbangsih ilmiah dalam pengembangan Ilmu Pengetahuan.
3. Memberikan pengetahuan tentang pengaruh debit air terhadap daya.
4. Diharapkan mampu menjadi buku tambahan referensi dalam menambah wawasan tentang kinerja dari PLTMH.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

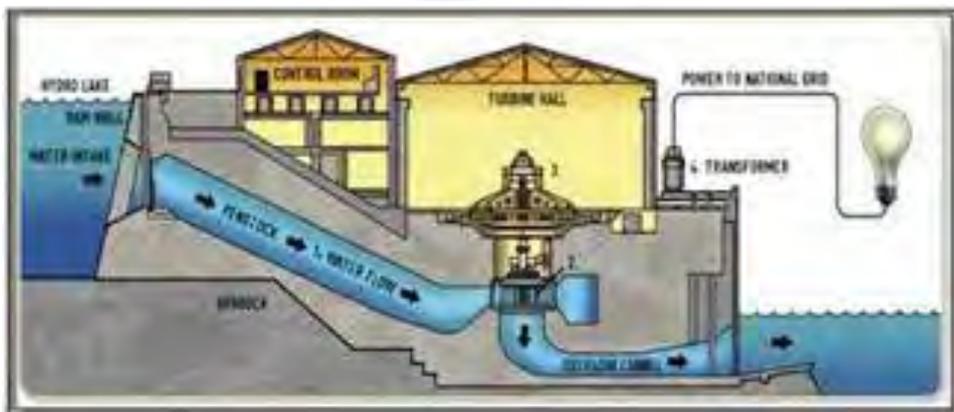
#### A. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

##### 1. Pengertian Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

PLTMH merupakan pembangkit listrik berskala kecil ( $< 100$  kw) dengan menggunakan kecepatan aliran serta energi potensial jatuh air sebagai sumber penghasil energi. PLTMH atau *Clean Energy*, dikarenakan ramah lingkungan[6]. Disisi lain, mikro-hidro terbagi menjadi 3 bagian penting ialah air (sebagai sumber energi), turbin serta generator.

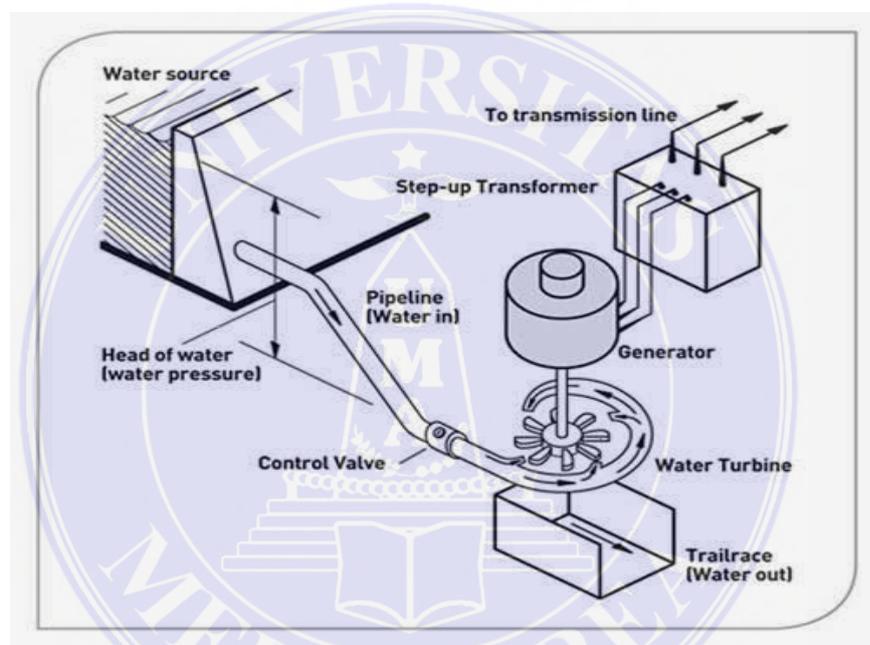
##### 2. Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

Prinsip kerja PLTMH sama seperti PLTA namun memiliki perbedaan pada kapasitasnya/besarnya. Parameter mikrohidro ialah debit air serta *head* digunakan agar dihasilkannya tenaga listrik. Debit yang digunakan berasal dari aliran air saluran irigasi, sungai serta pun saluran lainnya. bagian ini termasuk energi potensial didalam bentuk energy mekanik atau pun energy listrik. Secara skematis di tunjukan digambar 2.1.



Gambar 2.1. Prinsip Kerja PLTMH

PLTMH biasanya mempunyai tolak ukur yaitu memanfaatkan tinggi (*head*). Air dapat mengalir menggunakan daya tampung yang ditentukan serta di salurkan dari pipa melalui jarak yang ditentukan pula menuju rumah turbin. Disisi lain air selebihnya melakukan pergerakan di turbin yang telah terhubung bersama generator. Hal ini membuat turbin dapat menggerakkan generator listrik [7]. Skema PLTMH ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Skema PLTMH

## B. Turbin Air

Pada awalnya "*turbine*" ditemukan oleh Cloude Biourdin diawal abad-19, berasal dari penjemahan bahasa latin "*whirling*" atau putaran. Turbin air pada pembangkit listrik memiliki fungsi mengubah energi potensial ke energi kinetik. Kemudian energi kinetik diubah ke energi elektrik melewati generator. Turbin air disebut mesin penggerak dimana fluida kerjanya ialah air[8].

### C. Klasifikasi Turbin Air

Klasifikasi turbin air, dibagi ke 2 bagian ialah turbin impuls serta turbin reaksi[9].

#### 1. Turbin Impuls

Turbin impuls dan turbin air terlihat seragam dikarenakan tekanan air yang keluar dari nozel sama terhadap tekanan atmosfer sekitarnya. Contoh: turbin pelton, turbin *crossflow*.

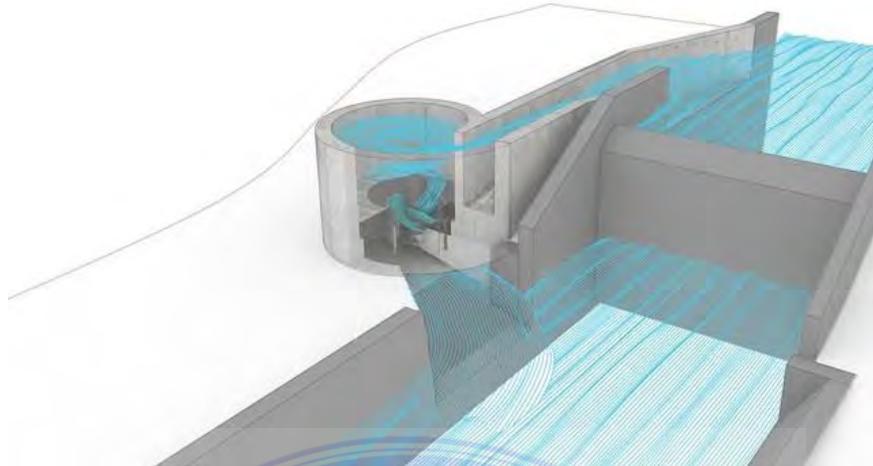
#### 2. Turbin Reaksi

Turbin reaksi dikarenakan tekanan air masuk roda turbin lebih besar dibandingkan tekanan air saat keluar roda turbin. Jenis turbin reaksi yang sering digunakan yaitu, turbin *francis*, turbin propeler/kaplan[10].

Berdasarkan penelitian yang akan dilakukan adalah dengan menggunakan Tipe Turbin *Whirlpool*.

### D. Turbin *Whirlpool*

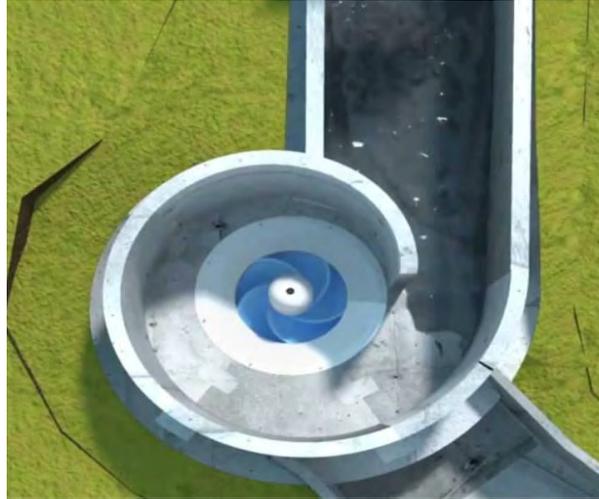
Saat ini, lebih dari 85% energi terbarukan berasal dari sungai dan sebagian besar pembangkit listrik tenaga air berada didaerah perbukitan karena pembangkit listrik tenaga air membutuhkan potensi perbedaan ketinggian air untuk memutar turbin. Meskipun dianggap sebagai energi terbarukan, itu merusak alam dalam pembangunannya. Namun masalah tersebut tampaknya dapat dipecahkan karena konsep pembangkit listrik tenaga air yang baru dan inovatif telah diberikan oleh beberapa insinyur Belgia yang telah mengembangkan turbin yang dikenal sebagai Turbin *Whirlpool*. Gambar Turbin *Whirlpool* terdapat digambar 2.3 dan 2.4.



Gambar 2.3. Turbin *Whirlpool*

Turbin *Whirlpool* mempunyai 1 bagian dan berputar. Turbin *whirlpool* memakai penghubung terkecil dan air terjun agar mendapat energi. Beberapa tanah di dekat mata air di gali dengan tujuan membentuk bak dan wadah serta pembuangan dengan konstruksi beton. Generator, impeller di masukan ke bak, selanjutnya bagian penutup dibuka sedikit agar air bisa masuk kedalamnya, ini menyebabkan turbin berputar. Putaran turbin ini menghasilkan energi bebas tanpa batas, sepanjang airnya mengalir[11].

PLTMH yang memanfaatkan air untuk sumber tenaga yang terinspirasi dari alam ini dapat mensuplai energi dengan biaya yang rendah. Dengan teknologi yang diciptakan oleh Turbulent, turbin ini mampu bekerja di lingkungan pedesaan sepanjang ada sungai di dekatnya. Produksi energi otomatis akan berhenti ketika sungai membeku di musim dingin.

Gambar 2.4. Turbin *Whirlpool*

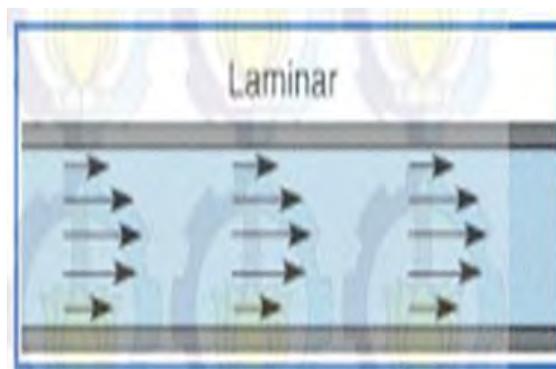
### E. Aliran Fluida

Fluida merupakan zat yang boleh mengalir serta berbentuk cairan/gas dan mengalir disebuah bidang. [12]. Aliran dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis seperti :

#### 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.

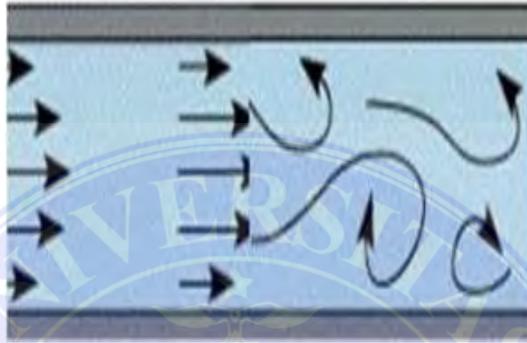
Gambar Aliran Laminar dapat dilihat di gambar 2.5.



Gambar 2. 5. Aliran Laminar

## 2. Aliran Transisi

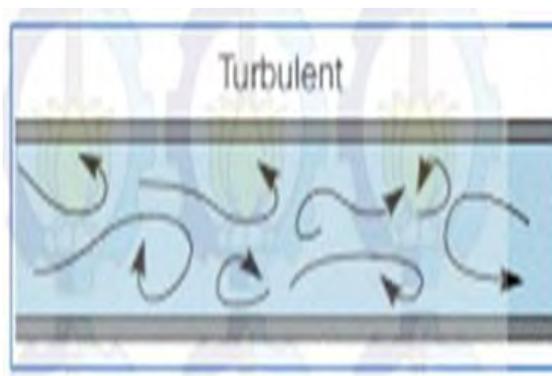
Aliran Transisi menunjukkan keadaan partikel fluida terletak di perubahan dari keadaan sama kearah keadaan yang tidak beraturan, keadaan ini kenyataannya sukar untuk terjadi. Gambar Aliran Transisi dapat di lihat digambar 2.6.



Gambar 2. 6. Aliran Transisi

## 3. Aliran Turbulen

Aliran yang *relatively* besar seperti biasanya menciptakan aliran yang tidak laminar 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 2.7.



Gambar 2. 7. Aliran Turbulent

## F. Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro(PLTMH)

Debit, Torsi, Daya dan Efisiensi Turbin salah satu hal yang penting pada PLTMH [13].

### 1. Debit Air

Debit air disebut bagian penentu dalam pembentukan turbin air, hal ini berpengaruh dikarenakan turbin cenderung bergantung di debit air yang ada. Sistem satuan SI besar nya debit di nyatakan dalam ( $m^3 /s$ ) [14].

Untuk mengetahui volume tabung dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$V = \pi \times r^2 \times t' \dots\dots\dots(Pers. 2.1)$$

dengan :

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

$$r = \text{Jari-Jari Tabung } (m^2)$$

$$t' = \text{Tinggi Tabung } (m)$$

Selanjutnya volume tabung dapat terlihat dari debit air. Debit itu menjelaskan volume salah satu fluida yang dialirkan lewat penampang yang sudah ditentukan dengan ketentuan waktu. Dapat, dinyatakan seperti berikut :

$$Q = \frac{V}{t} \dots\dots\dots(Pers. 2.2)$$

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 2.5 teori persamaan kontinuitas dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\Delta m_1 = \Delta m_2$$

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

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

$$Q = A \times v \dots \dots \dots \text{(Pers. 2.3)}$$

dengan :

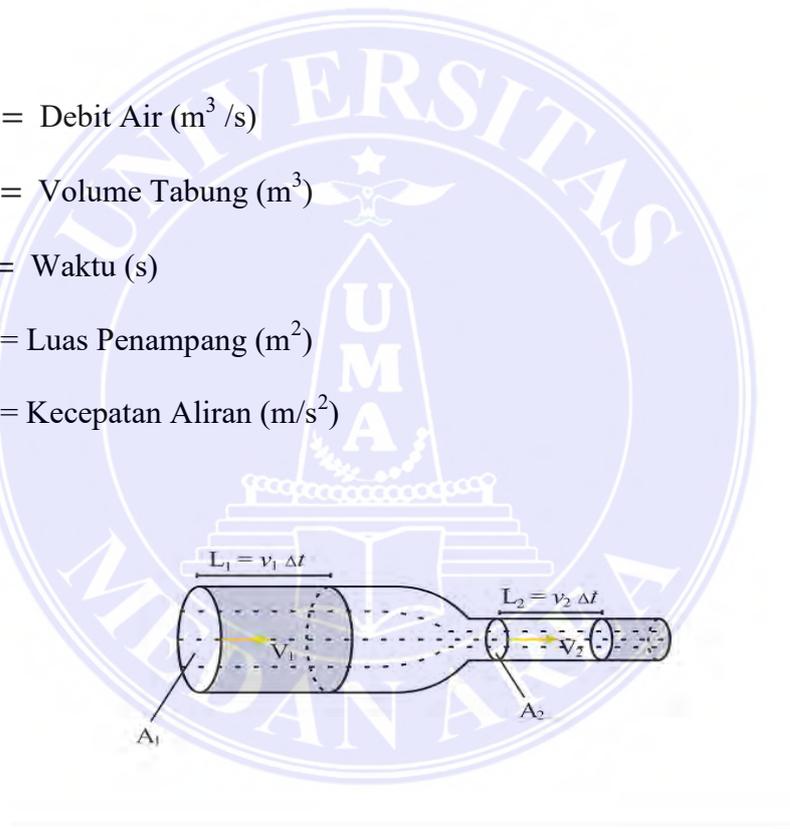
$$Q = \text{Debit Air (m}^3 \text{/s)}$$

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

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

$$A = \text{Luas Penampang (m}^2 \text{)}$$

$$V = \text{Kecepatan Aliran (m/s}^2 \text{)}$$



Gambar 2. 8. Teori Persamaan Kontinuitas

## 2. Torsi

Torsi merupakan kelebihan suatu gaya bertujuan melakukan gerak rotasi[15]. Pengukuran torsi berdasarkan *method prony brake* terdapat digambar

2.7. Besar torsi dihitung dengan menggunakan rumus:

$$T = F \times r \dots \dots \dots \text{(Pers. 2.4)}$$

dengan :

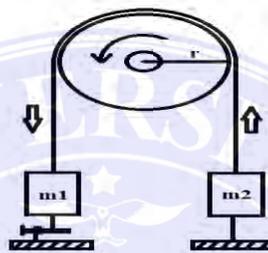
$$F = (m_2 - m_1) \times g$$

$$m_1 - m_2 = \text{Massa (kg)}$$

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

$$r = \text{Jari-jari poros (m)}$$

$$T = \text{Torsi (N.m)}$$



Gambar 2. 9. Metode Prony Brake

### G. Daya Yang Terbangkitkan

Daya diterima dari debit air mengalir dialiran saluran serta adanya tinggi terjun di sela-sela bak penampung kemudian rumah pembangkit. Penjumlahan dengan mengalikan gravitasi, debit air serta tinggi terjun[16]. Sehingga dapat ditulis dengan persamaan :

$$P_{air} = \rho \times g \times Q \times H \dots\dots\dots(\text{Pers. 2.5})$$

dengan :

$$P_{air} = \text{Daya (watt)}$$

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

$$H = \text{Head/Tinggi terjun air (m)}$$

$$g = \text{konstanta gravitasi (9,8 m/s)}$$

$$\rho = \text{massa jenis air (kg/m}^3\text{)}$$

Daya teoritis PLTMH tersebut diatas, akan berkurang setelah melalui turbin dan generator[17]. Sehingga dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut :

$$P_{\text{turbin}} = 2 \times \pi \times n \times \frac{T}{60} \dots\dots\dots(\text{Pers. 2.6})$$

Daya generator yang digunakan dapat dirumuskan sebagai berikut[18] :

Ampere yang di gunakan dalam penelitian ini adalah 0,24 A yang didapat dengan menggunakan multimeter digital.

$$P_{\text{generator}} = v \times I \dots\dots\dots(\text{Pers. 2.7})$$

dengan:

$v$  = Tegangan (Volt)

$I$  = Arus Listrik (Ampere)

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

$T$  = Torsi (N.m)

$n$  = Kecepatan Putaran (rpm)

Tabel 2.1. Efisiensi Turbin

Pada tabel 2.1 terdapat efisiensi turbin pada bagian bentuk turbin diantaranya turbin Pelton, Francis, Cross-flow, serta Kaplan/Propeller[19].

Jenis Turbin	Efisiensi Turbin( $\eta$ )
<i>Pelton</i>	0,8 – 0,85
<i>Francis</i>	0,8 – 0,9
<i>Cross-Flow</i>	0,7 – 0,8
<i>Kaplan/Propeller</i>	0,8 – 0,9

Tabel 2.2. Efisiensi Mikro Hidro menurut Harvey

Pada Tabel 2.2 terdapat efisiensi Mikro Hidro menurut Harvey :

No	Efisiensi	Nilai (%)
1	Efisiensi konstruksi sipil	95 %
2	Efisiensi penstock	90 %
3	Efisiensi Turbin	80 %
4	Efisiensi Generator	85 %
5	Efisiensi Trafo	96 %
6	Efisiensi transmisi	90 %

### 1. Efisiensi PLTMH

Efisiensi pembangkit listrik tenaga mikro hidro merupakan kompetensi peralatan pembangkit dalam melakukan perubahan energi kinetik ke energi listrik.

Untuk menghitung efisiensi dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_{PLTMH} = \frac{P_g}{P_{air}} 100\% \dots \dots \dots (Pers. 2.8)$$

dengan :

$$\eta_{PLTMH} = \text{Efisiensi PLTMH (\%)}$$

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

$$P_{air} = \text{Daya Air (watt)}$$

## H. Pompa

Pada PLTMH diperlukan debit air yang besar agar turbin air dapat berputar dan menghasilkan daya listrik. Berdasarkan penelitian yang akan

dilakukan, peneliti menggunakan pompa air listrik SHIMIZU JET POWER Model PS-135E. Gambar pompa air terdapat digambar 2.9.



Gambar 2. 10. Pompa Air



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Medan Area, dengan alamat di Jalan Kolam No. 1 Medan Estate, Telp. 7366878, 7357771, Medan Kec. Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara 20223. Penelitian dilaksanakan dari waktu pengesahan sampai dinyatakan selesai yang direncanakan berlangsung sampai waktu yang akan ditentukan.

Tabel 3.1. Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Kegiatan	Waktu (Per Bulan)											
		Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des	Jan	Feb
1.	Studi Literatur	■											
2.	Perancangan Alat	■	■										
3.	Penyusunan Proposal	■	■	■									
4.	Seminar Proposal			■									
5.	Pengujian Alat				■	■							
6.	Pengumpulan Data					■	■						
7.	Analisa Data						■	■					
8.	Penulisan Laporan							■	■	■			
9.	Seminar Hasil								■	■			
10.	Perbaikan										■	■	■
11.	Ujian Sidang											■	■

#### B. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang dipakai dalam penelitian ini adalah:

## 1. Alat Penelitian

### a. Tachometer

Tachometer atau kadang kita sebut RPM yang ditunjukkan pada gambar 3.1 merupakan petalatan pengujian bertujuan menghitung kecepatan rotasi dari sebuah objek khususnya jumlah putaran yang dihasilkan oleh sebuah poros dalam satu satuan waktu dalam poros turbin.



Gambar 3.1. Tachometer

Spesifikasi :

1. RPM Range : 2 to 99,999rpm
2. Count range : 1 to 99,999rev (revolution)
3. Jarak Target Max : 1.6ft (500mm)
4. Basic Akurasi :  $\pm 0.05\%$

### b. Stopwatch

Stopwatch merupakan peralatan bertujuan mengukur lamanya waktu yang diperlukan dalam kegiatan. Stopwatch dapat dilihat digambar 3.2.



Gambar 3.2. Stopwatch

Spesifikasi :

1. Tipe : Stopwatch jam tangan
2. Berat : 150 Gram

c. Meter Ukur

Meteran atau Meter ukur yang ditunjukkan pada gambar 3.3. mempunyai tugas seperti penggaris. Perbedaannya terlihat pada dimensi meteran yang panjang dan lebih fleksibel. Meteran digunakan untuk mengukur panjang saluran ataupun tinggi air jatuh. Hal ini ditujukan agar praktis saat digunakan.



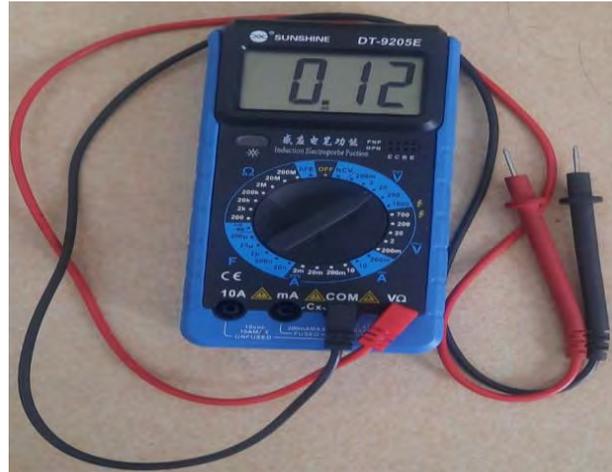
Gambar 3.3. Meteran atau Meter ukur

Spesifikasi :

1. Tipe : Meter Bangunan
2. Berat : 300 gram
3. Panjang : 5 meter
4. Lebar Meteran : 19 mm

d. Multi Tester

Multimeter memiliki fungsi untuk melihat ukuran tegangan listrik, resistans, mengukur temperatur serta frekuensi. Gambar multi tester ditunjukkan digambar 3.4.



Gambar 3.4. Multi Tester

#### e. Timbangan Digital

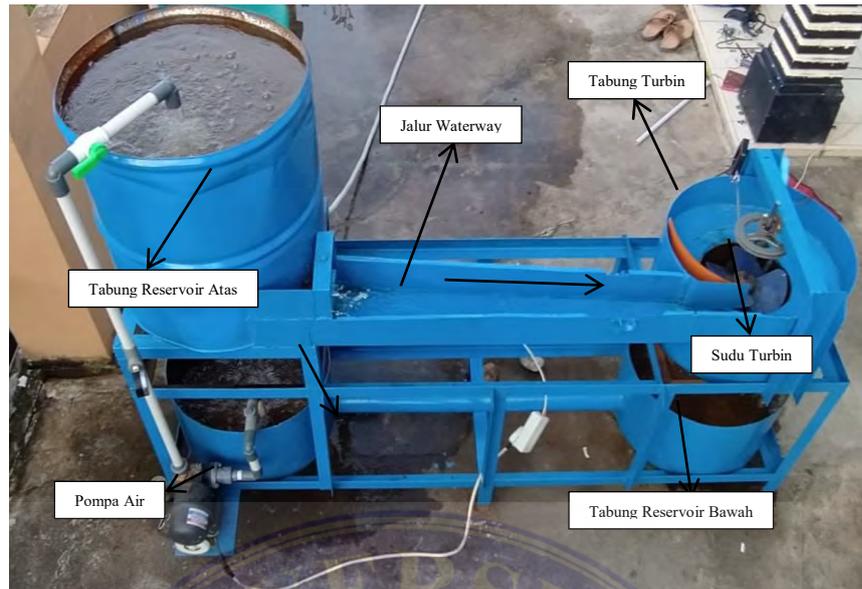
Timbangan digital bertujuan mengukur mass, dengan mengantungkan massa di pengait timbangan dengan fitur dan teknologi digital. Gambar timbangan digital ditunjukkan digambar 3.5.



Gambar 3. 5. Timbangan Digital

## 2. Bahan Penelitian

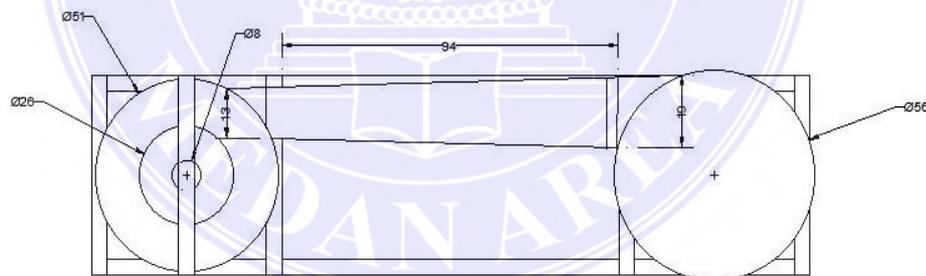
Dalam penelitan menggunakan prototype PLTMH. Gambar pembangkit listrik tenaga mikro hidro dapat dilihat digambar 3.6.



Gambar 3.6. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro

- a. Tampak Atas Tabung Reservoir Atas, Tabung Turbin, dan Jalur Waterway

Pada gambaran berikut dapat dilihat tampak atas dari PLTMH terdiri dari tabung reservoir atas, tabung turbin serta jalur waterway. Gambar tampak atas, ditunjukkan digambar 3.7.



Gambar 3. 7. Tampak Atas Tabung Reservoir Atas, Tabung Turbin dan Jalur Waterway

- b. Tampak samping Tabung Reservoir Atas, Tabung Turbin dan Jalur Waterway

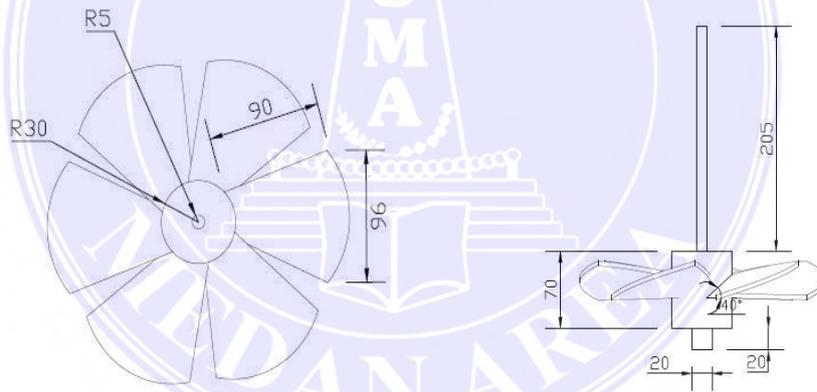
Pada gambar berikut dapat dilihat tampak samping dari PLTMH ditunjukkan digambar 3.8.



Gambar 3. 8. Tampak Samping Tabung Reservoir Atas, Tabung Turbin dan Jalur Waterway

c. Sudu Turbin Whirlpool

Pada gambar berikut dapat dilihat sudu turbin dipaparkan dalam prtotype PLTMH memiliki 6 buah bilah sudu turbin. Gambar sudu turbin ditunjukkan digambar 3.9



Gambar 3. 9. Sudu Turbin Whirlpool

**C. Prosedur Penelitian**

Prosedur pada penelitian dengan menganalisis performa dari PLTMH berisikan volume tabung, debit air, torsi, daya yang dihasilkan dan efisiensi. Variabel bebas yaitu debit air dan torsi. Kemudian variabel terikat yaitu daya serta efisiensi yang dihasilkan.

Adapun beberapa prosedur penelitian yang dilakukan adalah :

1. Menyusun alat dan bahan pada penelitian.
2. Memasukkan air kedalam bak penampung bawah serta menghidupkan pompa air listrik SHIMIZU JET POWER Model PS-135E untuk memompa air dari bak penampung/reservoir bawah ke tabung reservoir atas yang akan mengalir melalui pipa ditunjukkan digambar 3.10.



Gambar 3. 10. Proses Memasukkan Air Kedalam Tabung

3. Menunggu hingga tabung resevoir atas terisi air sebanyak 58L.
4. Membuka sekat pintu air sesuai ukuran yang dipakai ialah 5-7 cm ditunjukkan digambar 3.11.



Gambar 3. 11. Proses Pembukaan Pintu Air

5. Mengitung waktu air mengalir dengan stopwatch dengan bukaan sekat

pintu air yang telah ditentukan.

6. Menghitung kecepatan putaran pada turbin menggunakan tachometer yang tersambung dengan generator yang akan menghasilkan listrik dengan jarak tachometer 20 cm dan kemiringan  $30^\circ$  ditunjukkan digambar 3.12.



Gambar 3. 12. Proses Pengambilan Kecepatan Putaran Turbin

7. Mengukur tegangan listrik dan mencari ampere yang akan digunakan dengan multimeter yang disambungkan dengan generator.



Gambar 3. 13. Proses Mencari Tegangan dan Ampere

8. Kemudian menghitung debit dalam 3 kali percobaan dengan bukaan pintu air 5 cm , 6 cm , dan 7 cm.
9. Menghitung daya air yang dihasilkan oleh PLTMH dengan rumus pers 2.5.
10. Menghitung daya turbin yang dihasilkan oleh PLTMH dengan menggunakan rumus pada pers 2.6

11. Menghitung daya generator yang dihasilkan oleh PLTMH dengan rumus pers 2.7.
12. Menghitung torsi dengan method *prony brake* ditunjukkan digambar 3.13.



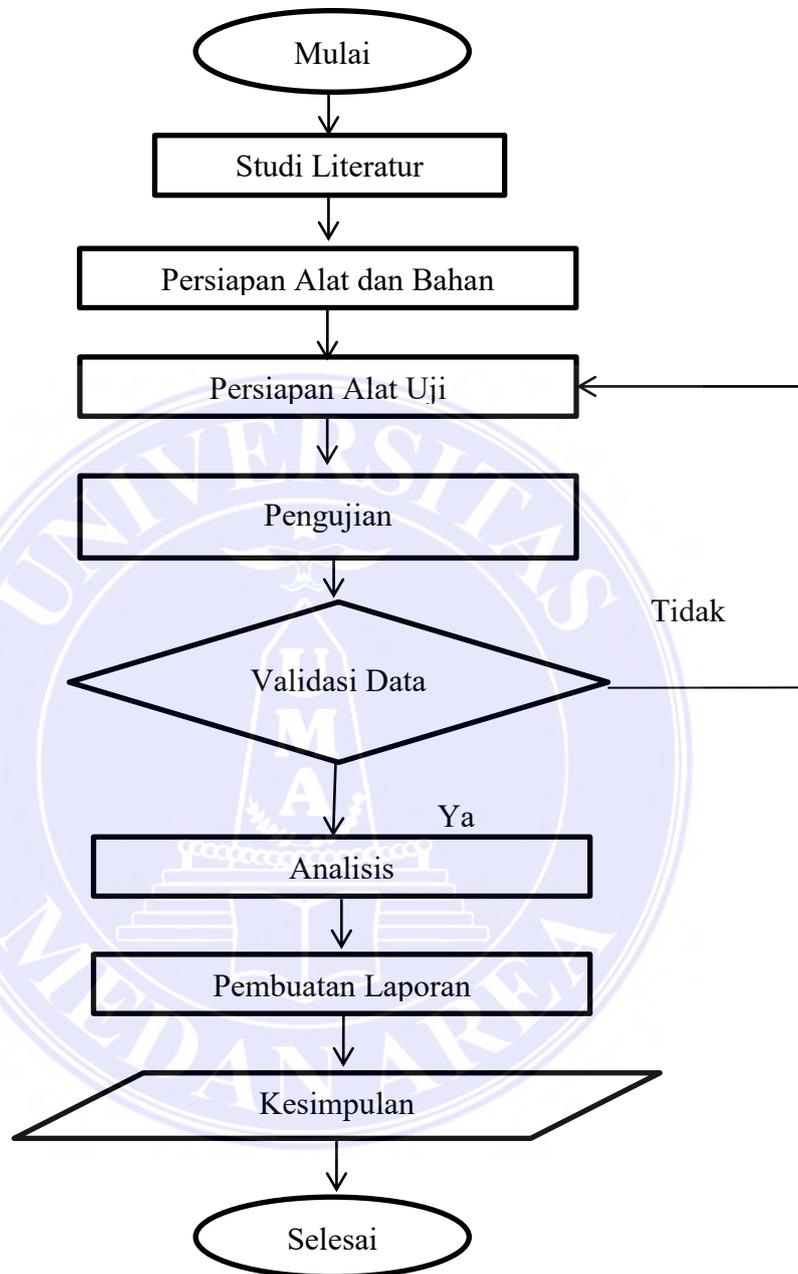
Gambar 3. 14. Proses Pengambilan Data Beban dengan Metode Prony Brake

13. Menghitung daya turbin yang dihasilkan oleh PLTMH dengan menggunakan rumus pada pers 2.6
14. Selanjutnya menghitung efisiensi PLTMH yang menggunakan tipe turbin *whirlpool* dengan menggunakan rumus pada pers 2.8.
15. Terakhir melakukan percobaan pada pembangkit listrik tenaga mikro hidro



Gambar 3. 15. Percobaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro

### D. Bagan Alur Penelitian



Gambar 3.16. Flow Chart

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### A. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada PLTMH, dimana dilaksanakan 3 kali uji coba dengan hasil data debit, torsi, daya serta efisiensi, Maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Potensi debit air terbaik pada Prototype PLTMH pada uji coba ke 3 saat bukaan pintu air setinggi 7 cm dengan debit  $0,00625 \text{ m}^3/\text{s}$  , sedangkan debit terendah pada bukaan pintu air setinggi 5 cm dengan debit  $0,00534 \text{ m}^3/\text{s}$  .
2. Dari Percobaan yang dilakukan daya terbesar pada uji coba ke 3 saat bukaan pintu air setinggi 7 cm dengan daya air 14,10 Watt, daya generator 4,56 Watt, torsi 0,077 N.m, daya turbin 0,72 Watt dan efisiensi 32,3 %.
3. Dengan data yang diperoleh kinerja dari PLTMH dapat digunakan untuk alat pengujian skala laboratorium.

#### B. SARAN

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian “Analisis Pengaruh Debit Air Terhadap Kinerja PLTMH sebagai berikut :

1. Untuk debit air dan daya dihasilkan dapat continue atau berkelanjutan maka harus menggunakan pompa yang lebih kuat dalam memompa air dari tabung reservoir bawah ke reservoir atas.
2. Semakin banyak volume air yang digunakan semakin efisien Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro tersebut.

3. Untuk mendapatkan tekanan air yang lebih kuat saat air menabrak sudu turbin diperlukan kemiringan jalur waterway agar hasil lebih maksimal.
4. Prototype PLTMH ini dapat di implementasikan di daerah dengan sungai atau air terjun deras agar dapat menjadi salah satu pembangkit listrik tenaga alternatif.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. L. Hakim, N. Yuniarti, And E. S. Damarwan, “Pengaruh Debit Air Terhadap Tegangan Output Pada,” *Jurnal Edukasi Elektro*, Vol. 4, No. 1, Pp. 75–81, 2020.
- [2] A. Bernad And E. Putra, “Analisis Perhitungan Efisiensi Daya Dengan Mengukur Besarnya Debit Aliran Air Dan Ketinggian ( Head ) Air Yang Jatuh Di Plta Saguling Bandung Analisis Perhitungan Efisiensi Daya Dengan Mengukur Besarnya Debit Aliran Air Dan Ketinggian ( Head ) Air Yang,” *Jurnal Universitas Pendidikan Indonesia*, Vol. 1, No. 1, Pp. 1–3, 2018.
- [3] Y. A. Augustiman And V. Dermawan, “Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Di Danau Andeman, Desa Sanankerto Kecamatan Turen, Kabupaten Malang,” *Jurnal Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro*, Vol. 1, No. 1, Pp. 1-11, 2018.
- [4] K. A. Ridwan, S. P. Lestari, I. Rusnadi, A. Rahayu, And E. Mahendra, “Simulasi Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Turbin Crossflow Ditinjau Dari Ketinggian , Debit Dan Arah Aliran Prototype Simulation Microhydro Power Plant Crossflow Turbine In Terms Of Head Potential , Discharge And Flow Direction,” *Jurnal Kinetika*, Vol. 12, No. 01, Pp. 40–44, 2021.
- [5] A. K. Krishnastana, L. Jasa, And A. I. Weking, “Studi Analisis Perubahan Debit Dan Tekanan Air Pada Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro,” *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, Vol. 17, No. 2, P. 257, 2018, Doi: 10.24843/Mite.2018.V17i02.P14.
- [6] S. T. Very Dwiyanto, Dyah Indriana K, “Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pltmh) Studi Kasus : Sungai Air Anak (Hulu Sungai Way Besai),” *J. Rekayasa Sipil Dan Desain*, Vol. 4, No. 3, Pp. 407–422, 2018, [Online]. Available: <https://www.neliti.com/id/publications/127987/Analisis-Pembangkit-Listrik-Tenaga-Mikro-Hidro-Pltmh-Studi-Kasus-Sungai-Air-Anak>.
- [7] A. Adhitama, S. Negara, D. Nugroho, M. T. ( Pembimbing, And A. Suprajitno, “Prosiding Konferensi Ilmiah Mahasiswa Unissula (Kimu) 2 Analisa Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pltmh) Di Air Terjun Kalipancur Kabupaten Semarang,” *Jurnal.Unissula.Ac.Id*, Vol. 2, No. 1, Pp. 271–278, 2019, [Online]. Available: <http://jurnal.unissula.ac.id/index.php/kimueng/article/view/8596>.
- [8] D. Luknanto, “Bangunan Tenaga Air,” *Diktat Kuliah*, Vol. 1, No.1, Pp. 1–14, 2017.

- [9] M. Program, S. Teknik, F. Teknik, U. Udayana, J. Raya, And K. Unud, "Pengaruh Jumlah Sudu Pada Prototype Pltmh, *Jurnal Spektrum*" Vol. 7, No. 4, Pp. 161–172, 2020.
- [10] I. Kurniady, A. Amrinsyah, And A. Amirsyam, "Kapasitas Aliran Terhadap Daya Turbin," *J. Electr. Syst. Control Eng.*, Vol. 2, No. 2, 2019, Doi: 10.31289/Jesce.V2i2.2359.
- [11] K. Umurani, A. M.-A, "*Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, "Ft-Umsu Ft-Umsu," Vol. 3, No. 2, Pp. 103–111, 2020.
- [12] A. P. Panjang *Et Al.*, "Analisa Pengaruh Panjang Dan Bentuk Geometri Lunas Bilga Terhadap Arah Dan Kecepatan Aliran (Wake) Pada Kapal Ikan Tradisional (Studi Kasus Kapal Tipe Kragan)," *J. Tek. Perkapalan*, Vol. 4, No. 4, Pp. 345–352, 2016.
- [13] I. Muslihin, "Rancang Bangun Prototype Alat," *Jurnal Spektrum Teknologi*, Vol. 1, No. 2, Pp. 9–13, 2018.
- [14] S. Ointu, F. E. P. Surusa, And M. Zainuddin, "Studi Perencanaan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pltmh) Berdasarkan Potensi Air Yang Ada Di Desa Pinogu," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, Vol. 2, No. 2, Pp. 30–38, 2020, Doi: 10.37905/Jjee.V2i2.4618.
- [15] R. Bangun, M. Pembangkit, L. Tenaga, D. Teknik, L. Universitas, And B. Jambi, "Jepca 1,2," *Journal Of Electrical Power Control And Automation*, Vol. 2, No. 1, Pp. 41–46, 2019, Doi: 10.33087/Jepca.V2i2.31.
- [16] D. Setiawan Wie, "Perencanaan Dan Implementasi Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pltmh)," *J. Tek. Elektro*, Vol. 7, No. 01, Pp. 31-36, 2017.
- [17] A. Muliawan And A. Yani, "Analisis Daya Dan Efisiensi Turbin Air Kinetis Akibat," *J. Sainstek*, Vol. 8, No. 1, Pp. 1–9, 2016.
- [18] Y. H. Kurniawan, Mujiburrahman, And J. Arifin, "Efektifitas Sudut Sudu Pengarah Pada Perancangan Turbin Kaplan Tipe Open Flume Dengan Daya 100 W," *Concept Commun.*, Vol 1, No. 23, Pp. 301–316, 2019.
- [19] T. Suyono, L. A. Latief, K. Umar, And F. P. Siko, "Pengaruh Debit Dan Head Terhadap Daya Mikro Hidro Pada Instalasi Pengolahan Air ( Ipa ) Papaloang Pulau Bacan," *Jurnal Spektrum Teknologi*, Vol. 3, No. April, Pp. 25–31, 2018.

**LAMPIRAN**

