

**ANALISIS DAYA GENERATOR DENGAN MENGGUNAKAN  
4 BUAH SUDU TURBIN TIPE WHIRLPOOL PEMBANGKIT  
LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO ( PLTMH )**

**SKRIPSI**

**OLEH:**

**WISANSONO SIMANGUNSONG  
178130103**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2021**

**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 20/6/22

Access From (repository.uma.ac.id)20/6/22

**ANALISIS DAYA GENERATOR DENGAN MENGGUNAKAN  
4 BUAH SUDU TURBIN TIPE WHIRLPOOL PEMBANGKIT  
LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO ( PLTMH )**

**SKRIPSI**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar  
Sarjana di Program Studi Teknik Mesin di Fakultas Teknik  
Universitas Medan Area**

**OLEH:**

**WISANSONO SIMANGUNSONG**  
**NPM. 178130103**

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

**MEDAN  
2022**

### HALAMAN PENGESAHAN BUKU SKRIPSI

Judul Skripsi : Analisis Daya Generator Dengan Menggunakan 4 Buah Sudu Turbin Tipe Whirlpool Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

Nama : WISANSONO SIMANGUNSONG  
NPM : 178130103  
Bidang Keahlian : Konversi Energi  
Fakultas : TEKNIK  
Program Studi : TEKNIK MESIN

Disetujui Oleh Komisi Pembimbing:

Dosen Pembimbing I



(Indra Hermawan, ST, MT)  
NIDN. 0114048001

Dosen Pembimbing II



(Ir. H. Amirsyam Nasution, MT)  
NIDN. 0025125606

Diketahui Oleh:

Dekan Fakultas Teknik



(Syaiful Anwar, S.Kom., M.Kom)  
NIDN. 0105055804

Dekan Fakultas Teknik Mesin



(Syaiful Anwar, S.T., MT)  
NIDN. 0105055804

Tanggal Lulus: 02 Februari 2022

**HALAMAN PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Wisansono Simangunsong

NIM : 178130103

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis, 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 atau hukuman apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan merupakan hasil jiplakan/plagiasi dalam skripsi ini.

Medan, Februari 2022

Hormat saya,



(WISANSONO SIMANGUNSONG)  
(178130103)

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

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


Nama : Wisansono Simangunsong  
NPM : 178130103  
Fakultas : TEKNIK  
Program Studi : TEKNIK MESIN  
Jenis Karya : Tugas Akhir / Skripsi

Demi 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 Daya Generator Dengan Menggunakan 4 Buah Sudu Turbin Tipe Whirlpool Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)”**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas Royalti, noneklusif 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 :

  
(WISANSONO SIMANGUNSONG)  
(178130103)

iii

## RIWAYAT HIDUP

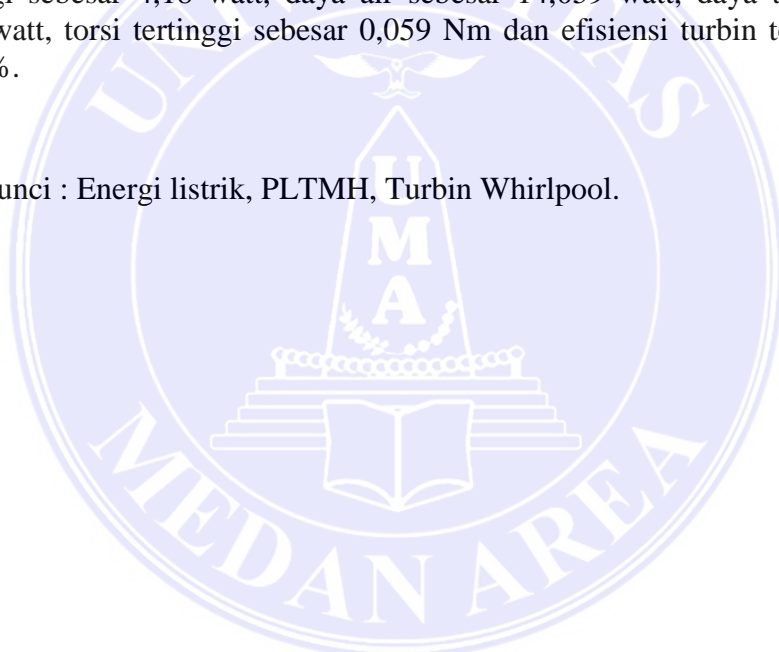


Wisansono Simangunsong lahir di desa Lumban Sidari, Kecamatan Pangaribuan, Kabupaten Tapanuli Utara, Provinsi Sumatera Utara pada tanggal 31 Juli 1998, anak keempat dari enam bersaudara, dari pasangan Ayah bernama Maraden Simangunsong dan Ibu bernama Nurmi Henti Simanjuntak. Pada tahun 2004 penulis masuk sekolah dasar di SD Negeri 173194 Batumanumpak dan lulus pada tahun 2010. Pada tahun 2010 melanjutkan sekolah di SMP Negeri 2 Pangaribuan dan lulus pada tahun 2013. Pada tahun 2013 penulis melanjutkan sekolah di SMA Negeri 1 Pangaribuan dan lulus pada tahun 2016. Pada tahun 2017 melanjutkan pendidikan di Perguruan Tinggi Universitas Medan Area, Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin. Syukur pada tahun 2022 penulis menyelesaikan pendidikan di Universitas Medan Area dengan gelar Sarjana Teknik.

## ABSTRAK

Menipisnya ketersediaan energi yang tidak dapat diperbaharui seperti minyak bumi dan batubara yang digunakan sebagai bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) diperlukan alternatif lain untuk menghasilkan energi listrik untuk meminimalisir polusi yang dihasilkan dari proses pembakarannya yang dapat menimbulkan pemanasan global, dan mengikis lapisan ozon. Untuk itu dapat diperlukan energi baru terbarukan seperti Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro ( PLTMH ) untuk memenuhi kebutuhan energi listrik masyarakat yang ramah lingkungan. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah Untuk mengetahui besar daya turbin yang menggunakan 4 buah sudu tipe turbin whirlpool. Dalam penelitian ini membahas tentang Analisa Daya Generator Dengan Menggunakan 4 Buah Sudu Turbin Tipe Whirlpool Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro. Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui lima kali pengujian dengan menggunakan debit air yang sama sebesar  $0,00625 \text{ m}^3/\text{s}$ . Sehingga diperoleh hasil akhir berupa data daya generator tertinggi sebesar 4,18 watt, daya air sebesar 14,059 watt, daya turbin terbesar 0,570 watt, torsi tertinggi sebesar 0,059 Nm dan efisiensi turbin terbaik sebesar 29,75 %.

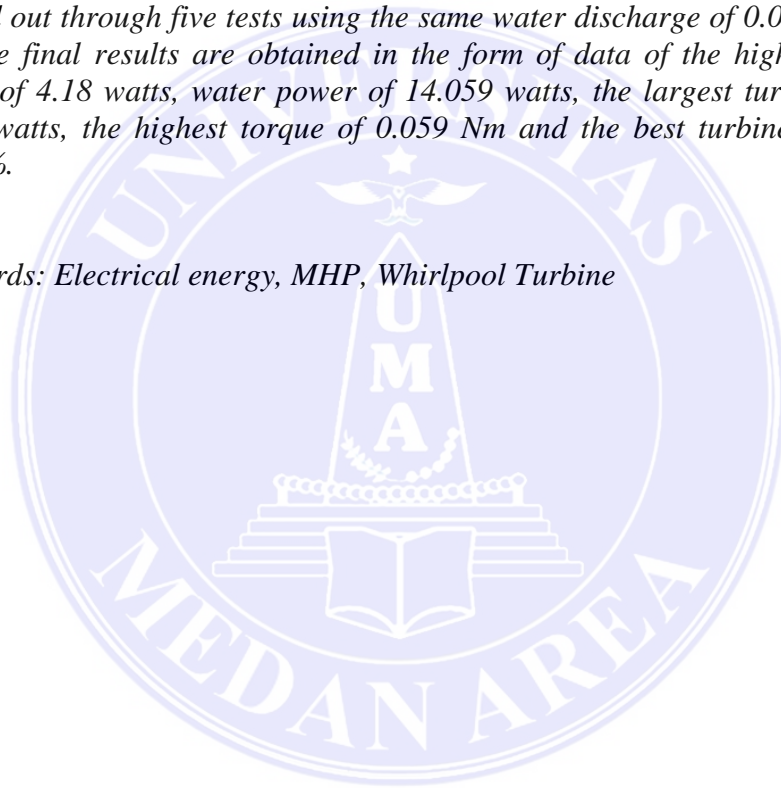
Kata Kunci : Energi listrik, PLTMH, Turbin Whirlpool.



## ABSTRACT

*The depletion of the availability of non-renewable energy such as oil and coal used as fuel for Steam Power Plants (PLTU) and Diesel Power Plants (PLTD) requires other alternatives to produce electrical energy to minimize pollution resulting from the combustion process which can cause global warming, and eroding the ozone layer. For this reason, new renewable energy such as Micro Hydro Power Plants (PLTMH) can be needed to meet the electrical energy needs of the community that are environmentally friendly. The purpose of this study is to determine the power of the turbine that uses 4 blades of the whirlpool turbine type. In this study discusses Generator Power Analysis Using 4 Turbine Blades Type Whirlpool Micro Hydro Power Plant. Data collection in this study was carried out through five tests using the same water discharge of 0.00625 m<sup>3</sup>/s. So that the final results are obtained in the form of data of the highest generator power of 4.18 watts, water power of 14.059 watts, the largest turbine power of 0.570 watts, the highest torque of 0.059 Nm and the best turbine efficiency of 29.75%.*

*Keywords: Electrical energy, MHP, Whirlpool Turbine*





## 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. Bapak 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. dan Dosen pembimbing II yaitu Bapak Ir. H. Amirsyam Nasution, MT.
6. Orang tua dan teman-teman yang senantiasa mendukung penulis.
7. Bapak dan Ibu Dosen, serta pegawai di Universitas Medan Area.
8. Para staf-staf karyawan tersebut terimakasih telah membantu penulis selama penulisan skripsi ini.
9. Teristimewa kepada kedua orang tua yang sangat penulis sayangi dan cintai yakni Ayahanda Maraden simangunsong dan Ibunda tercinta Nurmi Henti Simanjuntak yang selalu mendukung penulis, menjadi penopang disetiap proses kehidupan yang penulis lewati selalu memberi semangat, doa, serta bantuan moril maupun materil kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan. Kiranya Tuhan selalu memberkati kalian.
10. Kepada Renal Simangunsong, SH, Ririn Lorista Simangunsong,S.Pi,

Ranap Simangunsong dan Winarto Simangunsong selaku Kakak dan Adek kandung saya yang telah mensupport dalam bentuk materi ataupun rohani dalam memotivasi saya menyelesaikan skripsi.

11. Teman-teman Teknik Mesin 2017 Pagi/Malam yang senantiasa mendukung penulis skripsi.
12. Team PLTMH yang selalu solid dalam melakukan pengambilan data ataupun perbaikan mesin.
13. Untuk teman, sahabat dan orang terkasih yang selalu ada disisi saya. Saya bahkan tidak bisa menjelaskan betapa bersyukurya saya memiliki kalian dalam hidup saya.

Penulis berusaha untuk memberikan yang terbaik, tetapi penulis menyadari sebagai seorang manusia tentunya tidak luput dari segala kesalahan. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis meminta maaf jika dalam skripsi ini masih terdapat berbagai kesalahan dan kekurangan. Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua pihak.

Medan, 05 Januari 2022

Penulis

WISANSONO SIMANGUNSONG

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN BUKU SKRIPSI .....	i
HALAMAN PERNYATAAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	iii
RIWAYAT HIDUP .....	iv
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
BAB I .....	1
PENDAHULUAN .....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	3
C. Batasan Masalah .....	3
D. Tujuan Penelitian .....	4
E. Manfaat Penelitian .....	4
BAB II .....	5
TINJAUAN PUSTAKA .....	5
A. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) .....	5
1. Pengetian Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro .....	5
2. Klasifikasi PLTMH .....	5
3. Prinsip Kerja PLTMH .....	6
B. Turbin Air .....	7
1. Jenis-Jenis Turbin Air .....	7
2. Turbin <i>Whirlpool</i> .....	11
C. Komponen-Komponen Turbin <i>Whirlpool</i> .....	12
1. Stator .....	12

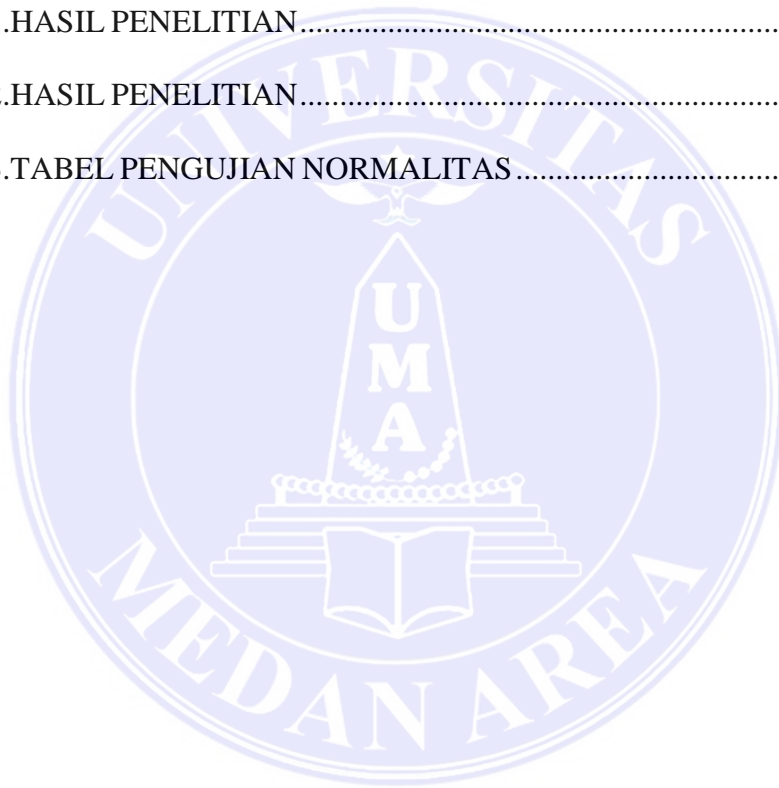
2. Rotor .....	12
D. Generator Listrik .....	13
E. Parameter Perhitungan Turbin .....	14
1. Debit air (Q) .....	14
2. Kecepatan spesifik (ns) .....	14
3. Kecepatan sudut ( $\omega$ ) .....	15
4. Daya air (Pa) .....	15
5. Daya turbin (Pt) .....	16
6. Torsi turbin (T) .....	16
7. Efisiensi turbin ( $\eta_t$ ) .....	17
BAB III .....	19
METODOLOGI PENELITIAN .....	19
A. Tempat dan Waktu Penelitian .....	19
B. Alat dan Bahan .....	20
1. Alat penelitian .....	20
2. Bahan penelitan .....	24
C. Metode Penelitian .....	26
BAB IV .....	29
HASIL DAN PEMBAHASAN .....	29
A. Hasil Penelitian .....	29
1. Pengukuran debit air .....	30
2. Menghitung daya air .....	30
3. Menghitung daya generator .....	31
4. Menghitung kecepatan keliling turbin .....	32
5. Menghitung torsi .....	33
6. Menghitung daya turbin .....	33
7. Menghitung kecepatan spesifik .....	34
8. Menghitung Efisiensi Turbin .....	34
B. Pembahasan .....	35
C. Uji Normalitas Data .....	39
BAB V .....	41

KESIMPULAN DAN SARAN.....	41
A. Kesimpulan.....	41
B. Saran .....	41
DAFTAR PUSTAKA .....	42



## DAFTAR TABEL

	Halaman
TABEL 2. 1. BERDASARKAN BESAR DAYA.....	5
TABEL 2. 2. BERDASARKAN TINGGI AIR JATUH .....	6
TABEL 2. 3. JADWAL KEGIATAN PENELITIAN.....	19
TABEL 3. 1. TABEL SPESIFIKASI TURBIN WHILPOOL .....	26
TABEL 4. 1. HASIL PENELITIAN.....	29
TABEL 4. 2. HASIL PENELITIAN.....	35
TABEL 4. 3. TABEL PENGUJIAN NORMALITAS .....	39



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
GAMBAR 2. 1.SKEMA PLTMH .....	6
GAMBAR 2. 2.TURBIN PELTON.....	8
GAMBAR 2. 3.TURBIN TURGO .....	8
GAMBAR 2. 4.TURBIN CROSSFLOW .....	9
GAMBAR 2. 5.TURBIN FRANCIS .....	10
GAMBAR 2. 6.TURBIN KAPLAN.....	11
GAMBAR 2. 7.TURBIN WHIRLPOOL .....	11
GAMBAR 2. 8. GENERATOR LISTRIK .....	13
GAMBAR 2. 9. METODE PRONY BRAKE .....	17
GAMBAR 4. 1. PROSES MEMBUKA PINTU AIR .....	30
GAMBAR 4. 2.TABEL LIQUID PROPERTIES.....	31
GAMBAR 4. 3.MENGUKUR DAYA GENERATOR .....	32
GAMBAR 4. 4.METODE PRONY BRAKE .....	33
GAMBAR 4. 5.HASIL PENGUJIAN DAYA GENERATOR.....	35
GAMBAR 4. 6.HASIL PENGUJIAN TORSI.....	36
GAMBAR 4. 7.HASIL PENGUJIAN DAYA TURBIN .....	37
GAMBAR 4. 8.HASIL PENGUJIAN KECEPATAN SPESIFIK.....	37
GAMBAR 4. 9.HASIL PENGUJIAN EFISIENSI TURBIN .....	38

## DAFTAR NOTASI

SIMBOL	ARTI	SATUAN
$\varphi$	Rasio kecepatan	1,618
N	Putaran turbin	rpm
D	Diameter karakteristik turbin	m
H	Tinggi terjun	m
V	Kecepatan aliran	m/s
Q	Debit air	m <sup>3</sup>
A	Luas penampang	m <sup>2</sup>
$n_s$	Kecepatan spesifik	rpm
P	Daya	kW
$\omega$	Kecepatan keliling	Rad/s
$\pi$	Pi	22/7
Pa	Daya air	watt
$\rho$	Massa jenis air	Kg/m <sup>3</sup>
Pt	Daya turbin	kW
$\eta_t$	Efisiensi turbin	%
T	Torsi	N.m
F	Gaya	N
r	Jari-jari	m
D	Daya generator	watt
V	Tegangan listrik	Volt
I	Arus listrik	Ampere



# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Menipisnya ketersediaan energi yang tidak dapat diperbaharui seperti minyak bumi dan batubara yang digunakan sebagai bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap ( PLTU ) dan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel ( PLTD ) diperlukan alternatif lain untuk menghasilkan energi listrik serta meminimalisir polusi yang dihasilkan dari proses pembakarannya yang dapat menimbulkan polusi udara dan mengikis lapisan ozon. Untuk itu dapat digunakan energi terbarukan seperti Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro ( PLTMH ) untuk memenuhi kebutuhan energi listrik masyarakat[1].

Berdasarkan data yang dimiliki kementerian ESDM, Indonesia memiliki potensi tenaga air sebesar 75000 MW yang tersebar 15600 MW ( 20,8 % ) di Sumatera, 4200 MW ( 5,6 % ) di Jawa, Kalimantan 21600 MW ( 28,8 % ), Sulawesi 10200 MW ( 13,6 % ), Bali, NTT, NTB, 620 MW ( 0,8 % ), Maluku 430 MW ( 0,6 % ) dan Papua, menyimpan potensi tenaga air sebesar 22350 MW ( 29,8 % ) dari potensi nasional, dan yang termanfaatkan saat ini hanya 10,1 % atau sebesar 7572 MW. Maka untuk mencukupi kebutuhan listrik masyarakat, terutama bagi daerah yang belum dialiri listrik namun memiliki aliran air yang kecil, Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro ( PLTMH ) sangat cocok untuk dikembangkan dan diaplikasikan.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro menggunakan turbin sebagai alat untuk mengkonversi energi potensial air menjadi energi mekanik untuk memutar

generator yang nantinya akan menghasilkan listrik. Daya yang dibutuhkan untuk PLTMH tidaklah besar ( 10 – 150 kW ) dan turbin whirlpool cocok digunakan untuk pembangkit ini[2]. Turbin whirlpool dibuat oleh turbulente perusahaan Belgia[3]. Untuk mendapatkan putaran turbin yang efisien yang tidak mungkin didapatkan di aliran air yang kecil, karena head air yang rendah dan tidak dapat mencapai ketinggian dan tekanan air yang tepat pada turbin maka, turbin ditempatkan pada bak berbentuk rumah keong. Air dimasukkan dari sisi atas dan keluar dari bawah untuk menggerakkan sudu turbin untuk diteruskan ke generator[4].

Sudu turbin adalah tempat terjadinya konversi energi potensial air menjadi energi mekanik yang selanjutnya diteruskan ke generator untuk menghasilkan energi listrik. Jenis sudu akan menentukan unjuk kerja suatu turbin yang akan mempengaruhi kecepatan tangensial untuk memutar roda turbin. Bentuk sudu yang memiliki koefisien drag yang tinggi antara lain sudu datar, sudu radius dan sudu radius tertutup. Semakin besar koefisien drag yang dimiliki oleh sebuah sudu maka semakin besar kemampuannya untuk memanfaatkan energi kinetik air yang menghantamnya[5].

Berdasarkan penelitian terdahulu didapatkan hasil analisa turbin whirlpool dengan menggunakan jumlah sudu 6 dan sudu 8 dengan debit air 90 liter/menit, 110 liter/menit, 125 liter/menit, 135 liter/menit, dan 150 liter/menit. Hasil dari penelitian ini didapat kan bahwa Torsi yang terendah terdapat pada jumlah sudu 6 dengan debit 90 liter/menit dengan nilai Torsi= 7,60858 kg.mm dan Torsi yang tertinggi didapat pada sudu 8 dengan debit 150 liter/menit dengan nilai

Torsi=10,06572 kg.mm. Daya turbin yang terendah terdapat pada sudu 6 pada debit 90 liter/menit dengan nilai= 0,2654549 watt dan daya turbin yang tertinggi terdapat pada jumlah sudu 8 dengan debit 150 liter/menit dengan nilai= 1,03288761 watt. Daya air yang terendah terdapat pada jumlah sudu 6 dengan debit 90 liter/menit dengan nilai=18,2466 watt dan Daya air yang tertinggi terdapat pada jumlah sudu 8 dengan debit 150 liter/menit dengan nilai= 30,411 watt [3].

Berdasarkan latar belakang yang telah dirumuskan maka dilakukan penelitian dengan judul :

“ Analisis Daya Generator Dengan Menggunakan 4 Buah Sudu Turbin Tipe *Whirlpool* Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro ( PLTMH ) “

### **B. Rumusan Masalah**

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

1. Bagaimana kinerja dan efisiensi pembangkit listrik tenaga mikro hidro tipe turbin *whirlpool* dengan menggunakan 4 buah sudu ?
2. Berapa daya yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga mikro hidro dengan menggunakan 4 buah sudu?
3. Data hasil pengujian diuji dengan diuji dengan data statistik.

### **C. Batasan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas adapun beberapa batasan masalah yang dibuat agar penelitian ini lebih terarah :

1. Penelitian ini membahas tentang daya listrik yang dihasilkan generator menggunakan 4 buah sudu turbin dengan debit 0,00625 m<sup>3</sup>/s.

2. Turbin yang digunakan dalam penelitian ini adalah turbin *whirlpool*.
3. Memahami konsep dan prinsip kerja turbin *whirlpool*.

#### **D. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- A. Untuk mengetahui besar daya turbin yang menggunakan 4 buah sudu.
- B. Mengetahui kelayakan pembangkit listrik tenaga mikro hidro dengan 4 buah sudu tipe *whirlpool* untuk diaplikasikan ke masyarakat.
- C. Untuk mengakses data dari setiap pengujian, sehingga data yang sudah tersedia dapat digunakan langsung untuk analisis data.

#### **E. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah :

1. Memberikan sumbangsih ilmiah dalam pengembangan Ilmu Pengetahuan tentang turbin *whirlpool*.
2. Penulis dapat memahami konsep tentang kinerja turbin khususnya tipe *whirlpool*.
3. Untuk memahami potensi air sebagai energi baru terbarukan.
4. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai bahan penelitian lanjut.
5. Untuk meminimalisir penggunaan energi fosil dan pencemaran lingkungan

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

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

##### 1. Pengetian Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro

Pembangkit listrik tenaga mikro hidro adalah istilah yang digunakan untuk instalasi pembangkit listrik tenaga air berskala kecil yang menggunakan air sebagai media utama dalam menggerakkan turbin yang akan diteruskan ke generator. Energi potensial air dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin menjadi energi mekanik yang akan dikonversikan ke generator untuk menghasilkan listrik.

Pembangkit listrik tenaga mikro hidro merupakan salah satu energi baru terbarukan. Energi terbarukan merupakan energi yang dihasilkan dari proses alamiah seperti, matahari, air, angin, dan panas bumi yang jumlahnya tidak terbatas serta tidak menimbulkan polusi dan pencemaran lingkungan[6]

##### 2. Klasifikasi PLTMH

Secara umum, pembangkit listrik mikro hidro dapat diklasifikasi berdasarkan daya yang dihasilkan dan tinggi air jatuhnya, seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut [7]:

Tabel 2. 1. Berdasarkan besar daya

No	Jenis	Daya / Kapasitas
1	PLTA	> 5 MW (5000 kW)
2	PLTM	100 kW – 5000 kW
3	PLTMH	< 100 kW

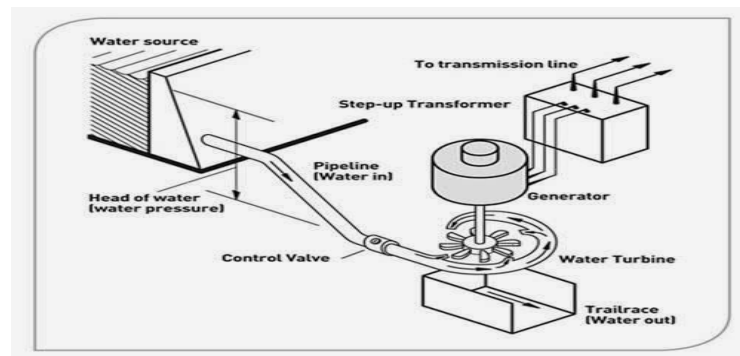
Tabel 2. 2. Berdasarkan tinggi air jatuh

No	Jenis	Tinggi air jatuh
1	High head	> 100 meter
2	Medium head	30 – 100 meter
3	Low head	< 30 meter

Dengan daya sebesar 100-300 watt yang dapat dihasilkan pembangkit ini, penelitian ini termasuk kedalam klasifikasi paling kecil dengan memanfaatkan turbin whirlpool sebagai penggerak utamanya.

### 3. Prinsip Kerja PLTMH

Komponen utama yang harus dipenuhi dalam berlangsungnya kerja PLTMH adalah air (sumber energi), turbin dan generator. Pipa pesat digunakan sebagai media untuk mengalirkan air dengan ketinggian dan kapasitas tertentu menuju rumah instalasi (*power house*)[8]. Rumah instalasi merupakan wadah untuk meletakkan turbin. Air yang dialirkan dari pipa pesat akan menabrak sudu-sudu turbin dan menghasilkan energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin dihubungkan langsung dengan generator untuk mengkonversikannya menjadi energi listrik. Dapat ditunjukkan secara skematis pada gambar 2.1.



Gambar 2. 1. Skema PLTMH

## B. Turbin Air

Turbin air adalah sebuah alat yang berfungsi untuk mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik. Turbin ditemukan oleh seorang insinyur Perancis yang bernama Claude Bourdin pada awal abad ke-19.

### 1. Jenis-Jenis Turbin Air

Turbin air memiliki banyak variasi yang disesuaikan terhadap tinggi air jatuh, kapasitas air, cara kerja dan kecepatan spesifiknya. Berdasarkan prinsip kerja turbin untuk mengubah energi air menjadi energi mekanis, turbin air dibagi menjadi dua yaitu[3] :

#### a. Turbin Aksi Atau Turbin Implus

Turbin aksi atau turbin implus adalah tipe turbin air yang tekanan air pada waktu masuk dan keluar rotor sama dengan tekanan atmosfer. Pada turbin jenis ini, rotor bekerja murni karena aliran air dimana ketinggian jatuh air diubah menjadi kecepatan.

Contoh turbin aksi atau turbin implus :

##### 1) Turbin Pelton

Jenis turbin ini termasuk kedalam turbin aksi karena, runner turbin pelton berputar akibat pembelokan pancaran air pada mangkok ganda runner. Tekanan air yang keluar dari nozel sama dengan tekanan air di sekitarnya. Pada saat air masuk ke sudu turbin, tinggi jatuh air dan tekanan dikonversikan menjadi kecepatan. Maka dari itu turbin pelton sering juga disebut turbin pancaran bebas[2].



Gambar 2. 2.Turbin Pelton

### 2) Turbin Turgo

Turbin ini hampir sama dengan turbin pelton dan memiliki keuntungan dan kerugian yang sama. Perbedaannya terdapat pada sudu dan turbin ini hanya dapat beroperasi pada head 30 sampai 300 meter[3].

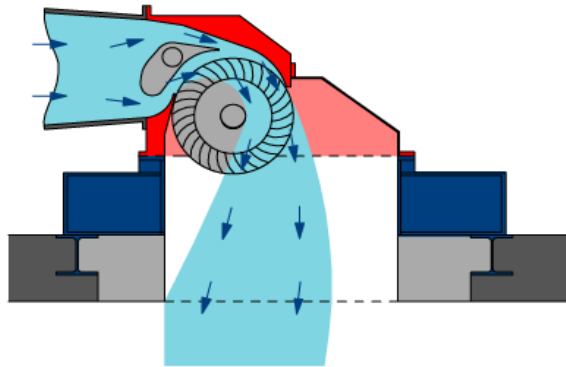


Gambar 2. 3.Turbin Turgo

### 3) Turbin Croosflow

Turbin crossflow merupakan jenis turbin aksi yang paling menguntungkan dibandingkan dengan jenis turbin mikro hidro lainnya. Karena untuk membangkitkan daya yang sama, turbin ini dapat menghemat biaya manufaktur hingga 50 % dari penggunaan kincir lain dengan bahan yang sama[3].





Gambar 2. 4. Turbin Crossflow

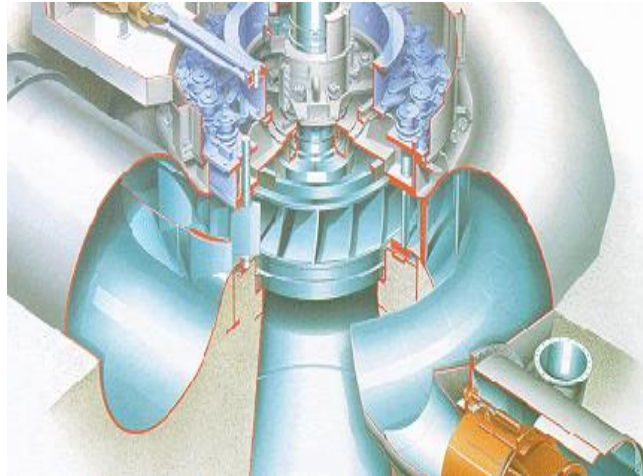
#### b. Turbin Reaksi

Disebut sebagai turbin reaksi sebab, rotor pada turbin ini bergerak karena adanya tekanan yang dihasilkan dari ketinggian terjun air. Air yang mengalir pada sudu-sudu turbin ini lebih besar dari tekanan atmosfer. Kemudian air dikeluarkan melalui pipa pembuangan[3].

Contoh turbin reaksi :

##### 1) Turbin Francis

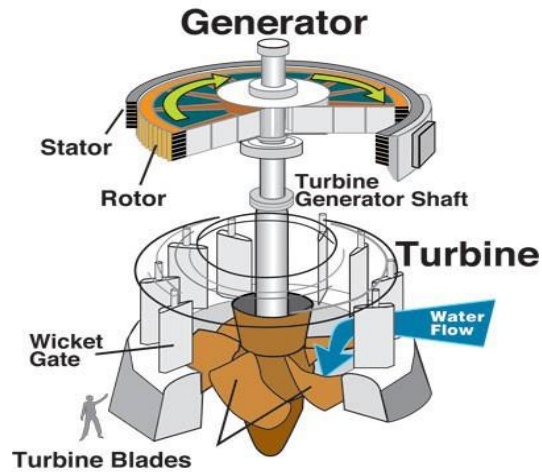
Turbin Francis merupakan jenis turbin yang mempunyai dua sudu yaitu sudu pengarah dan sudu jalan dan kedua turbin ini terendam didalam air. Air masuk melalui pipa terusan berbentuk rumah keong dan perubahan seluruh energi terjadi pada sudu pengarah dan sudu gerak. Pada turbin ini ditambahkan pipa penghisap untuk menaikkan tekanan air supaya tidak terjadi kavitasi karena, pada saat air masuk ke sudu pengarah kecepatan air akan bertambah namun tekanannya akan menurun[3].



Gambar 2. 5. Turbin Francis

## 2) Turbin Kaplan

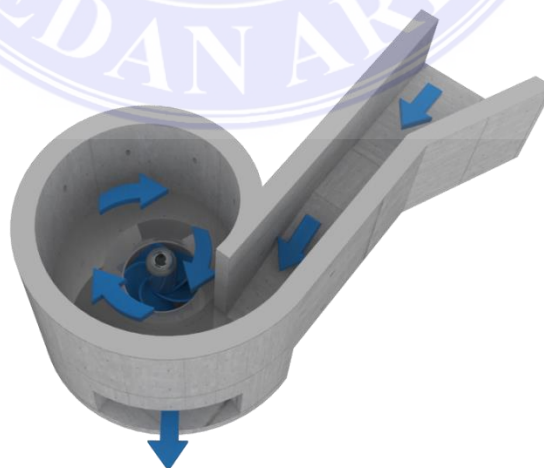
Bentuk sudu yang digunakan pada turbin ini mirip dengan baling-baling pesawat terbang, akan tetapi memiliki prinsip yang berbeda. Jika pada pesawat terbang baling-baling digunakan untuk menghasilkan gaya dorong, pada pembangkit ini turbin kaplan berfungsi untuk mendapatkan gaya ( $F$ ) dari putaran turbin yang menghasilkan torsi pada porosnya. Pada umumnya jenis turbin ini diaplikasikan pada aliran sungai sehingga desain turbin ini dirancang dengan sudu yang dapat diubah kemiringannya dengan tujuan, supaya dapat menyesuaikan dengan beban turbin karena head dan kecepatan air yang dapat berubah-ubah sepanjang tahun bergantung kepada fenomena alam[3].



Gambar 2. 6. Turbin Kaplan

## 2. Turbin Whirlpool

Turbin whirlpool adalah suatu rotor sederhana dimana hanya memiliki satu komponen yang bergerak, sehingga memiliki perawatan yang mudah dan umur yang panjang. Turbin ini memanfaatkan pusaran air untuk menggerakkan turbin dengan bantuan rumah keong. Menurut Turbulent seiring dengan berjalannya waktu pembangkit listrik dengan kapasitas yang besar semakin berkurang keberlanjutannya dan turbin ini bisa mengatasi keberlanjutan energi air[3].



Gambar 2. 7. Turbin Whirlpool

### C. Komponen-Komponen Turbin *Whirlpool*

Komponen-komponen utama turbin *whirlpool* adalah sebagai berikut :

#### 1. Stator

Stator merupakan bagian pada turbin *whirlpool* yang berfungsi sebagai stasioner pada sistem rotor. Stator tersusun atas dua bagian yakni casing dan sudu diam/tetap (*fixed blade*).

##### a. Casing

Casing merupakan suatu wadah berbentuk mirip rumah keong dimana turbin diletakkan. Pada bagian atas dipasang bantalan untuk menyangga poros turbin.

##### b. Sudu tetap

Merupakan bagian turbin yang berfungsi sebagai tempat konversi energi terjadi.

#### 2. Rotor

Rotor adalah bagian yang berputar pada sistem yang terdiri dari poros dan tempat pemasangan sudu yang mengelilingi rotor.

##### a. Poros

Poros merupakan suatu elemen memanjang dengan penampang berbentuk silinder yang berfungsi sebagai penyalur daya ke generator[9].

#### b. Sudu gerak

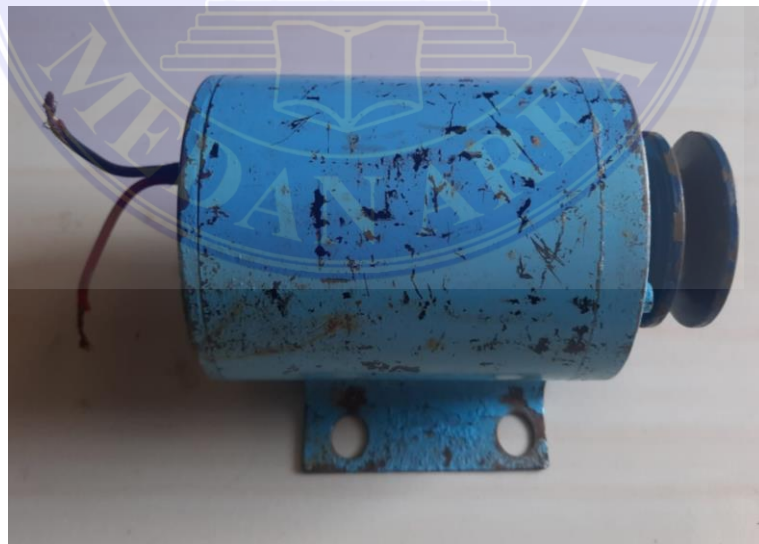
Sudu bergerak merupakan sirip-sirip turbin yang dipasang di sekeliling rotor membentuk piriingan.

#### c. Bantalan

Bantalan merupakan penyangga poros turbin sehingga dapat bergerak dengan stabil dan bebas.

### D. Generator Listrik

Generator merupakan komponen pembangkit listrik mikro hidro yang berfungsi sebagai penukar energi mekanik berupa putaran poros turbin menjadi energi listrik. Prinsip dasar generator menerapkan hukum Faraday yang menyatakan bahwa, jika ada perubahan garis gaya magnet pada sebuah kumparan kawat, maka akan menimbulkan gaya gerak listrik (GGL).



Gambar 2. 8. Generator Listrik

## E. Parameter Perhitungan Turbin

Parameter yang dipakai dalam penelitian ini yaitu berdasarkan hukum Newton dan persamaan Bernouli. Perhitungan dapat dilakukan dengan beberapa persamaan berikut :

### 1. Debit air (Q)

Debit merupakan jumlah air yang melewati suatu penampang atau sungai dalam suatu periode waktu tertentu yang dinyatakan dalam satuan m<sup>3</sup>/s[10]. Dengan persamaan kontinuitas debit air yang mengalir dapat ditentukan dengan persamaan (2.1) :

$$Q = \frac{V}{t} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

V : kecepatan aliran (m/s)

t : waktu (s)

Q : debit air (m<sup>3</sup>/s)

### 2. Kecepatan spesifik (ns)

Kecepatan spesifik (ns) merupakan kecepatan putar turbin yang imajiner, yang identik dengan turbin sebenarnya, namun hanya menghasilkan daya sebesar satu satuan daya pada tinggi terjun ( $H_{netto}$ ) satu satuan panjang[11]. Kecepatan spesifik digunakan untuk memprediksi kinerja pompa atau turbin yang diinginkan.

Kecepatan spesifik dapat ditentukan dengan persamaan (2.2) berikut :

$$n_s = n \frac{\sqrt{P}}{H^{5/4}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

P : daya (W)

H : tinggi terjun netto/efektif (m)

$n_s$  : kecepatan spesifik ( $m^3/s$ )

n : putaran turbin (rpm)

### 3. Kecepatan sudut ( $\omega$ )

Kecepatan sudut adalah besaran vektor yang menyatakan frekuensi sudut suatu benda dan sumbu putarnya yang dinyatakan dalam satuan radian per detik.

Kecepatan sudut turbin dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2.3) :

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

$\omega$  : kecepatan keliling (rad/s)

$\pi$  : 22/7

n : kecepatan putaran (rpm)

### 4. Daya air (Pa)

Daya air didefinisikan sebagai daya yang dihasilkan oleh air yang mengalir dari suatu ketinggian (H). Daya air dapat diketahui dengan mempergunakan persamaan :

$$P_a = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

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

$Q$  : debit air ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$g$  : gravitasi bumi ( $\text{m/s}^2$ )

#### 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[8]. Untuk mengetahui daya turbin yang dibangkitkan dapat dihitung dengan persamaan (2.5):

$$P_t = T \times \omega \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

$T$  : Torsi (watt)

$\omega$  : Kecepatan spesifik (rpm)

#### 6. Torsi turbin ( $T$ )

Torsi adalah gaya pada sumbu putar yang dapat menyebabkan benda bergerak memutar atau melingkar. Untuk mendapatkan nilai torsi dapat dihitung dengan persamaan (2.6) :

$$T = F . r \dots\dots\dots(2.6)$$

Sebelum melanjutkan untuk perhitungan, terlebih dahulu kita harus mencari nilai gaya ( $F$ ) dengan menggunakan metode *prony brake*. Dimana untuk mencari gaya ( $F$ ) dilakukan dengan menggunakan dua buah timbangan digital yang diletakkan pada poros turbin secara berlawanan. Pada saat pengujian timbangan 2 akan bergerak positif(+) dan timbangan 1 bergerak negatif(-).





Gambar 2. 9. Metode Prony Brake

maka nilai F ditentukan dengan :

$$F = (M_2 - M_1)$$

Keterangan :

F : gaya (N)

r : vektor posisi torsi dari titik gaya diterapkan (m)

T : torsi (N.m)

M<sub>1</sub>,M<sub>2</sub> : Beban

### 7. Efisiensi turbin ( $\eta_t$ )

Untuk menentukan efisiensi turbin whirlpool dilakukan perbandingan antara input dan output[12]. Maka ditentukan dengan persamaan (2.7) :

$$\eta_t = \frac{P_g}{P_a} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

$P_g$ : Daya generator(watt)

$P_a$ : Daya air (watt)

8. Daya generator

Daya generator merupakan daya yang dibangkitkan oleh sebuah sistem pembangkit setelah mengalami rugi-rugi secara keseluruhan yang diteruskan ke generator. Untuk mengetahui daya yang dihasilkan generator dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.8):

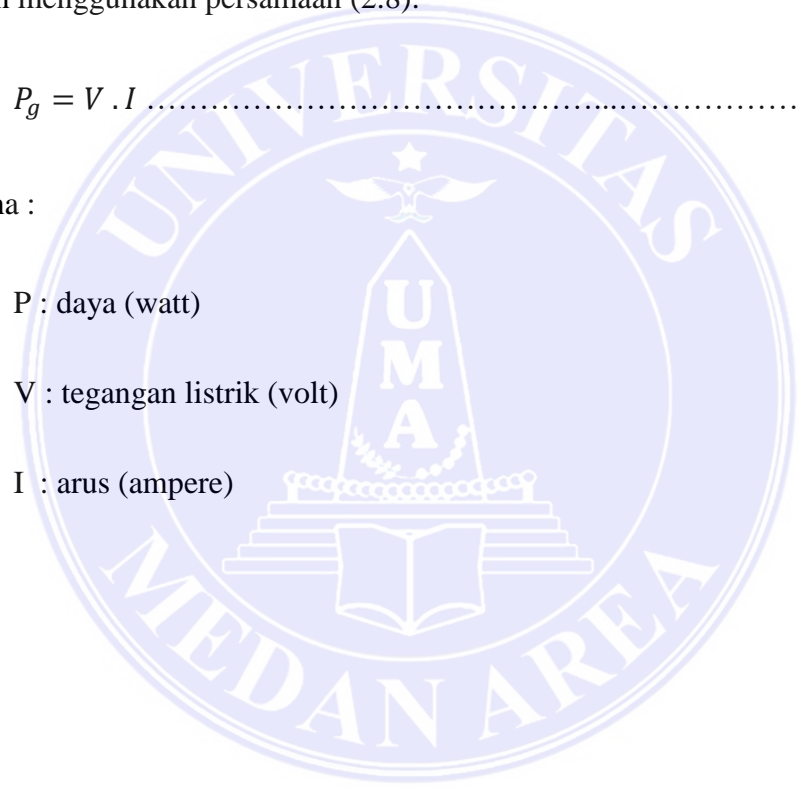
$$P_g = V \cdot I \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

P : daya (watt)

V : tegangan listrik (volt)

I : arus (ampere)



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium teknik mesin Universitas Medan Area yang beralamat di jl. Kolam No.1 Medan, Kec. Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara 20223. 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 2. 3. 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

Untuk memudahkan peneliti dalam mengumpulkan data hasil pengujian, digunakan beberapa alat dan bahan yang menjadi hal penting dalam proses penelitian ini adalah sebagai berikut :

### 1. Alat penelitian

#### a. Tachometer

Tachometer adalah alat pengujian yang dirancang untuk mengukur kecepatan rotasi dari sebuah objek, seperti pengukuran putaran poros turbin seperti pada gambar 3.4.



Gambar 3. 1.Tachometer

Spesifikasi :

- 1) Display : 5 Digits, 18MM (0.7")
- 2) Test Range : 2.5 to 99,999 rpm
- 3) Resolution : 0.1 rpm (2.5 to 999.9 rpm), 1rpm (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 200 MM =2- 10 inch(laser)
- 9) Battery : 6F22 9 V
- 10) Power Comsumption :Approx . 35mA(LED) or Approx. 30 mA(laser)

b. Meter ukur

Meter ukur seperti yang ditunjukkan pada gambar (3.2) adalah alat yang digunakan untuk mengukur dimensi turbin whirlpool.



Gambar 3. 2.Meter Ukur

Spesifikasi :

- 1) Dimensi : 6 x 6 x 2.5 cm
- 2) Berat : 0,1 kg
- 3) Rentang pengukuran :0,05 – 5 meter
- 4) Tingkat presisi : +/- 1,5 mm
- 5) Resolusi : 1 mm
- 6) Type : meteran bangunan

### c. Stopwatch

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



Gambar 3. 3. Stopwatch

Spesifikasi :

- 1) Tipe : stopwath jam tangan
- 2) Berat : 150 gram

### d. Multi Tester

Multimeter merupakan sebuah alat pengukur yang digunakan untuuk mengetahui ukuran tegangan listrik, resistansi, dan arus listrik. Dalam perkembangannya, dapat digunakan untuk mengukur temperatur, frekuensi, dan lainnya.



Gambar 3. 4. Multi Tester

## Spesifikasi:

- 1) Tipe: SHUNSHINE DT9205E
- 2) DC voltage : 200 mV- 1000 V (0,5 % +1)
- 3) AC voltage : 2 V-750 V (0,8% + 3)
- 4) DC current : 2 mA-20 A (0,8 % +1)
- 5) AC current : 2 mA-20 A (1 % +3)
- 6) Resistance : 200 – 20 M (2,5% + 3)
- 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.



Gambar 3. 5. Timbangan Tangan Digital

Spesifikasi :

- 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

## 2. Bahan penelitian

Adapun bahan yang digunakan peneliti dalam pembuatan komponen-komponen turbin whirlpool dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut :

### a. Pipa besi stainless

Poros turbin whirlpool pada penelitian ini dirancang dengan menggunakan bahan pipa stainless berdiameter 1 cm seperti yang terlihat pada gambar (2.10) :



Gambar 3. 6. Poros Turbin



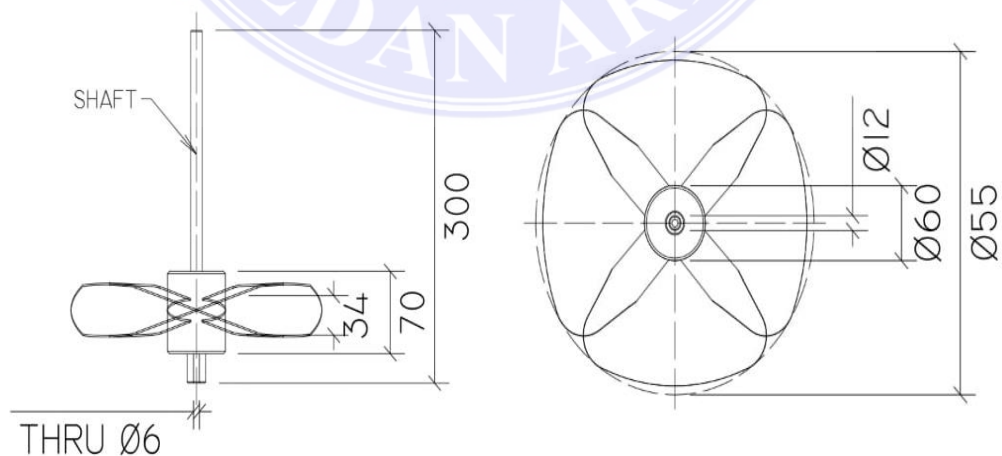
### b. Besi plat

Sudu gerak yang berfungsi sebagai penerima energi air yang digunakan dalam penelitian ini adalah besi plat dengan ketebalan 1 mm, seperti yang terlihat pada gambar (3.6)



Gambar 3. 7.Sudu turbin

Dimensi sudu turbin whirlpool dalam penelitian ini dapat dilihat melalui gambar rancangan desain turbin seperti yang terlihat pada gambar (3.8) dan tabel (3.1) berikut :



Gambar 3. 8. Desain rancangan sudu turbin whirlpool

Tabel 3. 1.Tabel Spesifikasi turbin whirlpool

Type	Dimensi
Lebar sudu	21 cm
Tebal plat sudu	0,1 cm
Panjang Poros	28 cm
Tinggi turbin	7 cm
Diameter turbin	24 cm
Diameter poros turbin	1,2 cm

Pada gambar (3.9) dibawah tampak rancang bangun prototype pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3. 9.Mesin pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH)

### C. Metode Penelitian

Metode pada penelitian ini dilakukan dengan menganalisis daya yang dihasilkan generator menggunakan empat buah sudu turbin tipe whirlpool. Variabel yang diterapkan dalam penelitian ini terdiri dari variabel bebas yaitu putaran turbin dan variabel tetap yaitu daya yang dihasilkan.

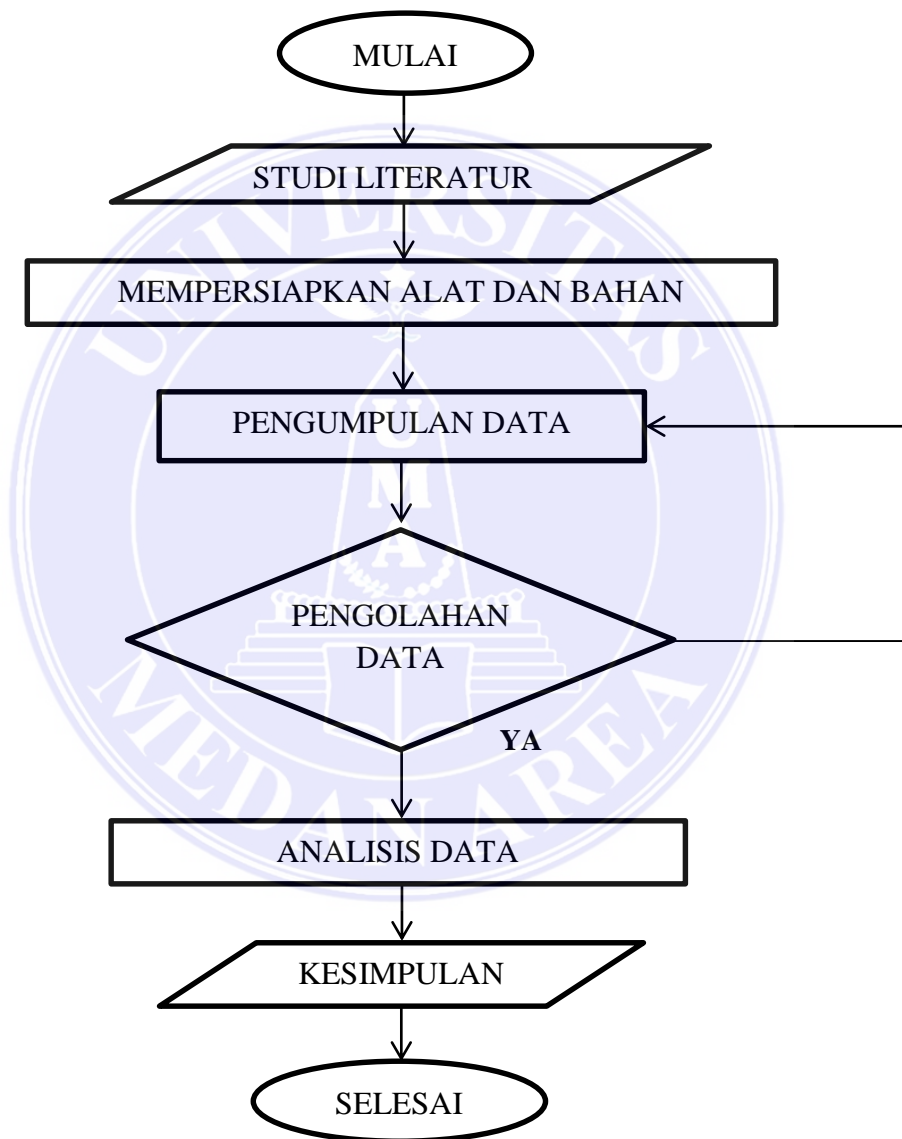
## 1. Prosedur pengujian

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam melakukan prosedur analisa prototype pembangkit listrik tenaga mikrohidro tipe turbin whirlpool ini adalah sebagai berikut :

- a. Mempersiapkan alat yang diperlukan dalam proses pengujian
- b. Merangkai dan menghubungkan sensor flow meter ke pompa air dan dikoneksikan ke laptop
- c. Menghidupkan pompa air untuk mengisi tabung reservoir dengan volume tertentu yang dapat dilihat di monitor laptop melalui sensor flow meter yang terkoneksi
- d. Menghubungkan multimeter ke kabel output generator untuk mengetahui tegangan listrik yang dihasilkan
- e. Memusatkan laser tachometer ke poros turbin untuk membaca putaran yang dihasilkan turbin whirlpool
- f. Membuka pintu air dengan bukaan yang direncanakan dan mengukur waktu beroperasinya mesin sampai air di reservoir habis dengan menggunakan stopwatch
- g. Pengambilan data siap untuk dilaksanakan.

#### D. Bagan Alur Penelitian

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



Gambar 3. 10. Bagan alur penelitian

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan sebanyak lima kali pada pembangkit listrik tenaga mikro hidro menggunakan 4 buah sudu dengan debit 0,006 m<sup>3</sup>/s maka diperoleh data pencatatan debit air, daya air, daya generator, torsi, daya turbin, kecepatan spesifik, dan efisiensi turbin, maka diambil kesimpulan:

1. Daya turbin tertinggi yang diperoleh dari hasil penelitian dengan debit 0,00625 m<sup>3</sup>/s adalah sebesar 0,570 watt dan hasil terendah sebesar 0,363 watt
2. Pembangkit listrik tenaga mikro hidro dengan 4 buah sudu tipe turbin whirlpool layak untuk diaplikasikan ke tengah-tengah masyarakat.
3. Data hasil pengujian yang diperoleh berdistribusi normal, kecuali data hasil pengujian daya generator.

#### B. Saran

Beberapa saran yang perlu dalam penyempurnaan penelitian ini atau yang ingin mengembangkan penelitian ini adalah:

1. Dalam pembuatan poros turbin hendaknya dibuat dengan center/tegak lurus agar putaran turbin lebih stabil.
2. Debit air sebisa mungkin diusahakan harus stabil.
3. Pembuatan turbin sebaiknya menggunakan sudu yang lebih banyak untuk menghasilkan daya yang lebih besar.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. K. Ardika, A. I. Weking, and L. Jasa, "Analisa Pengaruh Jarak Sudu Terhadap Putaran Turbin Ulir Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 18, no. 2, 2019, doi: 10.24843/mite.2019.v18i02.p10.
- [2] Y. E. A. Widayaka, "Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Menggunakan Turbin Pelton Dengan Jumlah Sudu 16 Dan 18," *Tek. Mesin*, pp. 1–55, 2011.
- [3] K. Umurani, A. M. Siregar, and S. Al-Amin, "Pengaruh Jumlah Sudu Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Tipe Whirlpool Terhadap Kinerja," *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 3, no. 2, pp. 103–111, 2020, doi: 10.30596/rmme.v3i2.5272.
- [4] S. Zeb *et al.*, "Pembangkit listrik mini hidro yang hemat biaya dengan metodologi desain pusaran air kepala air rendah untuk pedesaan daerah," 2019.
- [5] K. A. Syahrul and M. A. Sahbana, "Pengaruh Jenis Sudu Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin Air Kinetik Poros Horizontal," vol. 10, no. 2, pp. 20–24, 2018.
- [6] A. Bachtiar and W. Hayattul, "Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin," *Tek. Elektro*, vol. 7, no. 1, pp. 35–45, 2018.
- [7] A. P. Wahyudi, P. T. Juwono, and V. Dermawan, "Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro (Pltm) Besai Kemu Kabupaten Way Kanan Provinsi Lampung," *Pengairan.Studentjournal.Ub.Ac.Id*, [Online]. Available: <http://pengairan.studentjournal.ub.ac.id/index.php/jmtp/article/view/313>.
- [8] S. Teknik *et al.*, "TERHADAP KINERJA TURBIN REAKSI ALIRAN VORTEX Mahendra Bagus Baskoro Priyo Heru Adiwibowo," pp. 81–91.
- [9] S. Tinggi Teknologi Ronggolawe Cepu, J. B. Kampus Ronggolawe Blok, I. Mentul Cepu Blora Jawa Tengah, J. Sudu, and P. Vertikal, "JTM (Jurnal Teknik Mesin) STTR Cepu Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin Angin Dengan Poros Vertikal," vol. 1, pp. 38–44, 2021.
- [10] A. F. Faizin, A. Aziz, and D. Rey, "DENGAN MENGGUNAKAN GENERATOR DC UNTUK ALAT PRAKTIKUM DI LABORATORIUM Repair And Modification Of Pelton Water Turbines By Using DC Generator At The Mechanical Engineering Laboratory," vol. 02, no. 01, 2020.
- [11] A. Muis, J. T. Mesin, F. Teknik, and U. Tadulako, "TURBIN AIR PADA PLTA LARONA Abdul Muis<sup>1 1</sup> Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik

Universitas Tadulako.”

- [12] I. G. W. Putra, A. I. Weking, and L. Jasa, “Analisa Pengaruh Tekanan Air Terhadap Kinerja PLTMH dengan Menggunakan Turbin Archimedes Screw,” *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 17, no. 3, p. 385, 2018, doi: 10.24843/mite.2018.v17i03.p13.

